

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-069380

(43)Date of publication of application : 07.03.2003

(51)Int.Cl.

H03H 9/25

H03H 3/10

H03H 9/145

(21)Application number : 2001-252028

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 22.08.2001

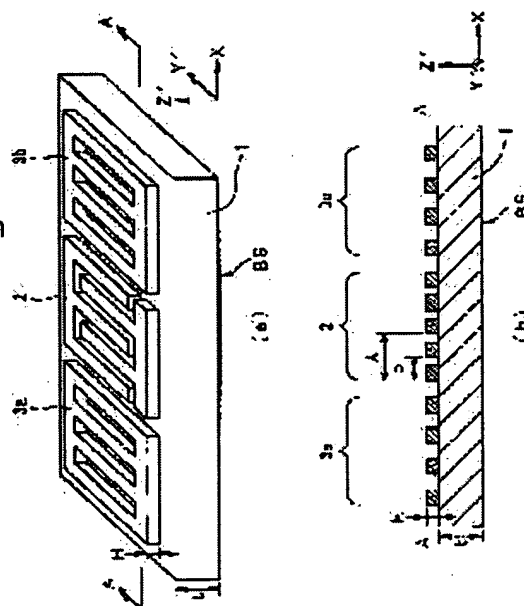
(72)Inventor : KANNA SHIGEO

(54) SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT, COMMUNICATION DEVICE USING THE SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT, MANUFACTURING DEVICE OF THE SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT, AND MANUFACTURING METHOD OF THE SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface acoustic wave element using a crystal leaky wave the frequency versus temperature characteristics of which can easily be enhanced.

SOLUTION: The frequency versus temperature deviation range is adjusted to a minimum by setting an adjustment quantity of a crystal thickness t to be 0 to 1λ with respect to an IDT wavelength λ .



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

{Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration}

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The surface acoustic element characterized by having the IDT electrode which an Eulerian angle is cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0), is formed on the Xtal substrate adjusted so that thickness might be settled in the predetermined frequency temperature anomaly range, and said Xtal substrate, and excites the Leakey wave to said Xtal substrate.

[Claim 2] The surface acoustic element characterized by having the IDT electrode with which the Xtal substrate with which the Eulerian angle (0theta, 0) was cut into 15 minutes [20] < theta < 16 degrees, and the IDT wavelength lambda and thickness H of an IDT electrode are set up so that it may be set to $0.01 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$, and they excite the Leakey wave to said Xtal substrate.

[Claim 3] The surface acoustic element characterized by having the IDT electrode with which the Xtal substrate with which the Eulerian angle (0theta, 0) was cut into $16 \leq \theta \leq 23$ degrees, and the IDT wavelength lambda and thickness H of an IDT electrode are set up so that it may be set to $0.01 < H/\lambda$ and $0.0055\theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$, and they excite the Leakey wave to said Xtal substrate.

[Claim 4] The surface acoustic element of claim 1-3 characterized by performing adjustment of the thickness of said Xtal substrate to the forming face of said IDT electrode, and all the fields that counter so that it may fit in the predetermined frequency temperature anomaly range given in any 1 term.

[Claim 5] The surface acoustic element of claim 1-3 characterized by performing adjustment of the thickness of said Xtal substrate to said crevice so that the crevice which has a larger area than the formation field of said IDT electrode may be established in the forming face of said IDT electrode, and the field which counters and it may fit in the predetermined frequency temperature anomaly range given in any 1 term.

[Claim 6] The surface acoustic element of claim 1-5 to which the amount of adjustments of the thickness of said Xtal substrate is characterized by being $0-1\lambda$ given in any 1 term.

[Claim 7] It is a communication device using the surface acoustic element characterized by having the IDT electrode which a surface acoustic element is used as a frequency-selective filter, an Eulerian angle is cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0), and said surface acoustic element is formed on the Xtal substrate adjusted so that thickness might be settled in the predetermined frequency temperature anomaly range, and said Xtal substrate, and excites the Leakey wave to said Xtal substrate.

[Claim 8] The manufacturing installation of the surface acoustic element characterized by having the chamber which introduces etching gas, the electrode prepared in said chamber, RF power source which impresses RF power to said electrode, and RF power control section which controls the power and impression time amount of said RF power source so that the amount of etching of the Xtal substrate is settled in the predetermined frequency temperature anomaly range.

[Claim 9] An Eulerian angle meets in the propagation direction of the surface wave on the main front face of the Xtal single crystal of (0, 15 - 23 degrees, and 0). In the manufacture approach of a surface acoustic element that at least one pair of IDT electrodes for exciting leak 1 wave spread while emitting energy to the interior of a substrate have been arranged The manufacture approach of the surface

acoustic element characterized by adjusting the Xtal thickness of the forming face of said IDT electrode, and the field which counters so that it may fit in the predetermined frequency temperature characteristic.

[Claim 10] The manufacture approach of the surface acoustic element characterized by having the process which fixes in a package the Xtal substrate with which the Eulerian angle was cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0), and the IDT electrode was formed so that said IDT electrode may turn to the bottom, and the process which etches the rear face of said Xtal substrate so that it may fit in the predetermined frequency temperature characteristic.

[Claim 11] The manufacture approach of the surface acoustic element characterized by having the process which fixes the Xtal substrate with which the Eulerian angle was cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0), and the IDT electrode was formed in the package with which opening was formed so that said IDT electrode may turn to a top, and the process which etches the rear face of said Xtal substrate through said opening so that it may fit in the predetermined frequency temperature characteristic.

[Claim 12] The manufacture approach of the surface acoustic element of claim 9-11 given in any 1 term that the amount of adjustments of the thickness of said Xtal substrate is characterized by being 0-1lambda.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is applied to the oscillator in the frequency-selective filter in a cellular phone etc., a keyless entry system, etc., a resonator, etc. about the communication device and the manufacturing installation of a surface acoustic element which used the surface acoustic element and the surface acoustic element, and the manufacture approach of a surface acoustic element, and is suitable.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the surface acoustic element using the conventional Xtal Leakey wave, in order to stabilize the frequency temperature characteristic, a cut angle is set up in 5 minutes 16 degrees, and the approach of setting to $H/\lambda = 0.005 \sim 0.001$ is indicated by JP,2-194714,A. Here, H is the thickness of an IDT electrode and λ is IDT wavelength.

[0003] Moreover, in JP,8-17303,B, by embedding an IDT electrode to the interior of Xtal, thickness H of an IDT electrode is enlarged and the approach of lowering resistance is indicated. Moreover, the approach of raising a reflection factor by setting H/λ as the range of 0.01-0.03, and miniaturizing a surface acoustic element by it by setting a cut angle as the range of 16 degrees - 18.50 degrees, while improving the frequency temperature characteristic is indicated by JP,7-183760,A. And although it is unstated, this has the effectiveness which controls the increment in resistance.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] however -- since the Xtal Leakey wave velocity is about 3950 m/s when this surface acoustic element is applied not only to hundreds of MHz band but to the frequency of 1GHz or more by the approach of JP,2-194714,A -- frequency $F[\text{Hz}] = \text{rate} [\text{m/s}] / \text{wavelength } \lambda [\text{m}]$

By the formula to say, for example, the frequency F is set to $\lambda = 3.95$ micrometers by 1GHz. For this reason, $H/\lambda =$ since it was 0.05, there was a problem that became very thin with $H = 197.5\text{A}$, and resistance became large.

[0005] Moreover, if thickness H of an IDT electrode was too thin, since bonding would not adhere, the process which thickens only the electrode of a bonding location was needed, and there was a problem that a production process became complicated. Moreover, in JP,8-17303,B, after preparing the groove for embedding an IDT electrode, in order to form an IDT electrode, the process of IDT electrode formation became complicated and there was a problem that the yield fell.

[0006] Moreover, by the approach of JP,7-183760,A, it is predicted that the Leakey wave used by the latest-starting-time cut combines with thickness mode as indicated by Jpn.J.Appl.Phys.Vol.35(1996) pp.3002-3005. By this association, since the temperature characteristic changes, it is expected that the good temperature characteristic is not acquired.

[0007] Then, the 1st purpose of this invention is offering the communication device using the surface acoustic element which can improve easily the frequency temperature characteristic of the surface acoustic element which used the Xtal Leakey wave, and a surface acoustic element, the manufacturing

installation of a surface acoustic element, and the manufacture approach of a surface acoustic element. Moreover, the 2nd purpose of this invention is a propagation loss and resistance being able to make it small, and offering the communication device using the surface acoustic element and surface acoustic element using the Xtal Leakey wave also with the good temperature characteristic, the manufacturing installation of a surface acoustic element, and the manufacture approach of a surface acoustic element. [0008] Moreover, the 3rd purpose of this invention is being able to make resistance small and offering the communication device using the surface acoustic element and surface acoustic element using the Xtal Leakey wave also with the good temperature characteristic, the manufacturing installation of a surface acoustic element, and the manufacture approach of a surface acoustic element while enlarging an electromechanical coupling coefficient.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the technical problem mentioned above, according to the surface acoustic element according to claim 1, an Eulerian angle is cut into $(0, 15 - 23 \text{ degrees}, \text{ and } 0)$, and it is formed on the Xtal substrate adjusted so that thickness might be settled in the predetermined frequency temperature anomaly range, and said Xtal substrate, and is characterized by having the IDT electrode which excites the Leakey wave to said Xtal substrate.

[0010] The clock frequency of a surface acoustic element can be raised easily, without being able to adjust the frequency temperature anomaly range only by adjusting the thickness of the Xtal substrate by this, and complicating a production process. Moreover, according to the surface acoustic element according to claim 2, the Xtal substrate with which the Eulerian angle $(0\theta, 0)$ was cut into 15 minutes $[20] < \theta < 16 \text{ degrees}$, and the IDT wavelength λ and thickness H of an IDT electrode are set up so that it may be set to $0.01 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$, and they are characterized by having the IDT electrode which excites the Leakey wave to said Xtal substrate.

[0011] The clock frequency of a surface acoustic element can be raised easily, without being able to make a propagation loss and resistance small and complicating a production process, this securing the good temperature characteristic. Moreover, according to the surface acoustic element according to claim 3, the Xtal substrate with which the Eulerian angle $(0\theta, 0)$ was cut into $16 \leq \theta \leq 23 \text{ degrees}$, and the IDT wavelength λ and thickness H of an IDT electrode are set up so that it may be set to $0.01 < H/\lambda$ and $0.0055\theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$, and they are characterized by having the IDT electrode which excites the Leakey wave to said Xtal substrate.

[0012] The clock frequency of a surface acoustic element can be raised easily, without being able to make resistance small and complicating a production process, this securing the good temperature characteristic, while enlarging an electromechanical coupling coefficient. Moreover, according to the surface acoustic element according to claim 4, it is characterized by performing adjustment of the thickness of said Xtal substrate to the forming face of said IDT electrode, and all the fields that counter so that it may fit in the predetermined frequency temperature anomaly range.

[0013] Thereby, after forming an IDT electrode in the Xtal substrate, the frequency temperature anomaly range of a surface acoustic element can be adjusted only by etching the rear face of the Xtal substrate. Moreover, according to the surface acoustic element according to claim 5, it is characterized by performing adjustment of the thickness of said Xtal substrate to said crevice so that the crevice which has a larger area than the formation field of said IDT electrode may be established in the forming face of said IDT electrode, and the field which counters and it may fit in the predetermined frequency temperature anomaly range.

[0014] Thereby, in order to adjust the frequency temperature anomaly range of a surface acoustic element, when etching the rear face of the Xtal substrate, as an IDT electrode turns to a top, it can mount a surface acoustic element, and becomes possible [connecting a surface acoustic element using wire bonding]. Moreover, according to the surface acoustic element according to claim 6, the amount of adjustments of the thickness of said Xtal substrate is characterized by being $0-1\lambda$.

[0015] This becomes possible to set the frequency temperature anomaly range of a surface acoustic element as the minimal value only by carrying out specified quantity etching of the rear face of the Xtal substrate. Moreover, according to the communication device using a surface acoustic element according

to claim 7, a surface acoustic element is used as a frequency-selective filter, an Eulerian angle is cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0), said surface acoustic element is formed on the Xtal substrate adjusted so that thickness might be settled in the predetermined frequency temperature anomaly range, and said Xtal substrate, and it is characterized by having the IDT electrode which excites the Leakey wave to said Xtal substrate.

[0016] While becoming possible to raise frequency selective characteristics easily by this, it becomes possible to correspond to RF-ization of a communication device easily. Moreover, according to the manufacturing installation of a surface acoustic element according to claim 8, it is characterized by having the chamber which introduces etching gas, the electrode prepared in said chamber, RF power source which impresses RF power to said electrode, and RF power control section which controls the power and impression time amount of said RF power source so that the amount of etching of the Xtal substrate is settled in the predetermined frequency temperature anomaly range.

[0017] This becomes possible [automating the adjustment process of the thickness of the Xtal substrate], and it becomes possible to raise a throughput. moreover -- according to the manufacture approach of a surface acoustic element according to claim 9 -- an Eulerian angle (0 -- 15 to 23 degrees) In the manufacture approach of a surface acoustic element that at least one pair of IDT electrodes for exciting leak 1 wave spread while emitting energy to the interior of a substrate along the propagation direction of the surface wave on the main front face of the Xtal single crystal of 0) have been arranged It is characterized by adjusting the Xtal thickness of the forming face of said IDT electrode, and the field which counters so that it may fit in the predetermined frequency temperature characteristic.

[0018] The clock frequency of a surface acoustic element can be raised easily, without being able to adjust the frequency temperature anomaly range only by adjusting the thickness of the Xtal substrate by this, and complicating a production process. Moreover, according to the manufacture approach of a surface acoustic element according to claim 10, an Eulerian angle is cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0), and it is characterized by having the process which fixes in a package the Xtal substrate with which the IDT electrode was formed so that said IDT electrode may turn to the bottom, and the process which etches the rear face of said Xtal substrate so that it may fit in the predetermined frequency temperature characteristic.

[0019] After this mounts the Xtal substrate with which the IDT electrode was formed on a package, the frequency temperature anomaly range of a surface acoustic element can be adjusted only by etching the rear face of the Xtal substrate. Moreover, it is characterized by having the process which fixes the Xtal substrate with which the Eulerian angle was cut into (0, 15 - 23 degrees, and 0) according to the manufacture approach of a surface acoustic element according to claim 11, and the IDT electrode was formed in the package with which opening was formed so that said IDT electrode may turn to a top, and the process which etches the rear face of said Xtal substrate through said opening so that it may fit in the predetermined frequency temperature characteristic.

[0020] The frequency temperature anomaly range of a surface acoustic element can be adjusted being able to adjust the thickness of the rear face of the Xtal substrate and making wire bonding possible, when it mounts a surface acoustic element on a package by this, as the IDT electrode turned to the top. Moreover, according to the manufacture approach of a surface acoustic element according to claim 12, the amount of adjustments of the thickness of said Xtal substrate is characterized by being $0-1\lambda$.

[0021] This becomes possible to set the frequency temperature anomaly range of a surface acoustic element as the minimal value only by carrying out specified quantity etching of the rear face of the Xtal substrate.

[0022]

[Embodiment of the Invention] It explains referring to a drawing about the surface acoustic element concerning the operation gestalt of this invention hereafter. The perspective view showing the outline configuration of the surface acoustic element which drawing 1 (a) requires for the 1st operation gestalt of this invention, and drawing 1 (b) are the sectional views cut by the A-A line of drawing 1 (a). In drawing 1, the IDT electrode 2 and the reflector electrodes 3a and 3b are formed on the main front face of the Xtal substrate 1. In addition, for t, the thickness of the Xtal substrate 1 and P are [IDT wavelength

and H of the pitch of the IDT electrode 2 and λ] the thickness of the IDT electrode 2. Here, the IDT wavelength λ becomes twice the pitch P of the IDT electrode 2.

[0023] Moreover, this Xtal substrate 1 is cut down so that an Eulerian angle may be set to (0, θ = 15 - 23 degrees, and 0). Here, thickness t of the Xtal substrate 1 is adjusted so that the frequency temperature characteristic may be stabilized. Namely, although the 2nd page of an IDT electrode and the field BS which counters are used as an adhesion side to a package, it etches this opposed face BS if needed, and it usually adjusts the thickness of the Xtal substrate 1 for every chip so that the frequency temperature characteristic may be stabilized.

[0024] Adjustment of the thickness of the Xtal substrate 1 may be performed to the Xtal substrate 1 whole, and it may be made to carry out here by limiting to the range of the IDT electrode 2 which influences the temperature characteristic of the Leakey wave. Drawing 2 is drawing showing the relation of the Xtal thickness t of a surface acoustic element and the frequency temperature anomaly concerning the 1st operation gestalt of this invention. In addition, in this example, it was referred to as an Eulerian angle (0, 16, 0) and $H/\lambda = 0.0101$, and the case of the Xtal thickness of $t = 397$ micrometers, 398 micrometers, 399 micrometers, and 400 micrometers was shown. Moreover, it is the value which standardized the frequency F in each temperature as frequency [temperature anomaly ppm] $= (F - F_0)/F_0 \times 10^6$ the frequency temperature anomaly in drawing 2, and on the basis of the frequency F_0 in 25 degrees C.

[0025] In drawing 2, in the case of the Xtal thickness of $t = 397$ micrometers, 398 micrometers, and 399 micrometers, it is the range whose temperature is -40-90 degrees C, and to having fitted in the range whose frequency temperature anomaly is 80--40ppm, in the case of $t = 400$ -micrometer Xtal thickness, it is the range whose temperature is -40-90 degrees C, and it is changed in the range whose frequency temperature anomaly is -250--20ppm. For this reason, in this example, the frequency temperature characteristic can be stabilized by setting Xtal thickness t to 397-399 micrometers.

[0026] Drawing 3 and 4 are drawings showing the relation of the Xtal thickness t of a surface acoustic element and the frequency temperature anomaly range concerning 1 operation gestalt of this invention. In addition, the frequency temperature anomaly range is the difference of the maximum of the frequency temperature anomaly of drawing 2, and the minimum value. Moreover, when the IDT wavelength λ of drawing 3 of drawing 1 is 10 micrometers, drawing 4 shows the case where the IDT wavelength λ of drawing 1 is 12.5 micrometers. Moreover, Eulerian angles are (0, 16, 0) also about which IDT wavelength λ .

[0027] In drawing 3 and 4, if Xtal thickness t is changed, the minimal value of the frequency temperature anomaly range will appear in every IDT wavelength λ . Namely, in drawing 3, the minimal value appeared for every IDT wavelength of $\lambda = 10$ micrometers, and the minimal value has appeared for every IDT wavelength of $\lambda = 12.5$ micrometers in drawing 4. Thereby, the frequency temperature anomaly range can be adjusted to the minimal value by setting up the amount of adjustments of Xtal thickness t between $0 - 1\lambda$ to the IDT wavelength λ . In addition, since the minimal value of the frequency temperature anomaly range appears in every IDT wavelength λ , it may perform the amount of adjustments of Xtal thickness t between $x(n-1)\lambda - nx\lambda$ (n : integer).

[0028] Here, the minimal value of the frequency temperature characteristic variation obtained by adjusting Xtal thickness t can be made into the minimum value in the range which fills the relation between H/λ and θ . That is, without making thickness H of the IDT electrode 2 extremely thin by adjusting Xtal thickness t , H/λ , and θ , actuation of 1GHz or more is enabled and the highly precise frequency temperature characteristic can be acquired easily.

[0029] Thus, according to the 1st operation gestalt mentioned above, controlling increase of the resistance of the IDT electrode 2, it can manufacture by the high yield and the surface acoustic wave using the good Xtal Leakey wave of the frequency temperature characteristic can be offered. Drawing 5 (a) is the sectional view showing the outline configuration of the surface acoustic element concerning the 2nd operation gestalt of this invention. In drawing 5 (a), the Xtal substrate 11 with which the IDT electrode 12 was formed has pasted the ceramic package 14 through adhesives 13, as the IDT electrode

12 turned to the bottom. Here, by performing plasma etching using fluorine gas, the forming face of the IDT electrode 12 and the field BS which counters are etched, and thickness t of the Xtal substrate 11 is adjusted so that it may become the predetermined frequency temperature characteristic.

[0030] For example, when setting the predetermined frequency temperature characteristic as the frequency temperature characteristic with a Xtal thickness [of drawing 2] of $t = 397$ micrometers, the surface acoustic element of Xtal thickness t which applied the thickness in consideration of the variation in the Xtal thickness to 397 micrometers is created. And after pasting up this surface acoustic element on a ceramic package 14, plasma etching is performed so that Xtal thickness t may be set to 397 micrometers.

[0031] In addition, before pasting up the Xtal substrate 11 on a ceramic package 14, Xtal thickness t of the Xtal substrate 11 may be adjusted. Moreover, in this case, the forming face of the IDT electrode 12 can be turned up, and a ceramic package 14 can be pasted so that adhesives 13 may not exist in the lower part of the IDT electrode 12. Drawing 5 (b) is the sectional view showing the outline configuration of the surface acoustic element concerning the 3rd operation gestalt of this invention. In drawing 5 (b), the Xtal substrate 21 with which the IDT electrode 22 was formed has pasted the ceramic package 26 through adhesives 24, as the IDT electrode 22 turned to the top. Moreover, the electrode of the Xtal substrate 21 is connected with the electrode of a ceramic package 26 through the bonding wire 25.

[0032] Here, a crevice 23 is formed in the rear face of the Xtal substrate 21, and thickness t of the Xtal substrate 21 in this crevice 23 is set to it so that it may become the predetermined frequency temperature characteristic, so that it may correspond to the formation range of the IDT electrode 22 at least. Moreover, opening 27 is formed in the ceramic package 26 so that it may correspond to the crevice 23 of the Xtal substrate 21. And thickness t of the Xtal substrate 21 of a crevice 23 can be adjusted after pasting up the Xtal substrate 21 on a ceramic package 26 by etching the rear face of the Xtal substrate 21 through this opening 27.

[0033] While this becomes possible to perform wirebonding to the forming face of the IDT electrode 22, adhesives 24 and the field which counters the IDT electrode 22 are certainly separable. In addition, before pasting up the Xtal substrate 21 on a ceramic package 26 with a binder 24, thickness t may be adjusted from the rear face of the Xtal substrate 21. In this case, there may not be the opening 27 of a ceramic package 26.

[0034] Drawing 6 is the perspective view and sectional view showing the production process of the surface acoustic element concerning the 2nd operation gestalt of this invention. In drawing 6 (a), if a surface acoustic element is formed to the Xtal wafer W, a surface acoustic element will be started as a chip CP by performing the dicing of this Xtal wafer W.

[0035] Consequently, the chip CP with which the surface acoustic element of drawing 6 (b) was formed is obtained. Here, the IDT electrode 32, the reflector electrodes 33a and 33b, and the drawer electrodes 34a and 34b are formed on the Xtal substrate 31 at the surface acoustic element of drawing 6 (b). Next, as are shown in drawing 6 (c), and the IDT electrode 32 turns to the bottom, the Xtal substrate 31 of drawing 6 (b) is pasted up on a ceramic package 36 through adhesives 34.

[0036] Next, by performing plasma etching ZM at the rear face of the Xtal substrate 31, as shown in drawing 6 (d), after the Xtal substrate 31 of drawing 6 (b) has pasted the ceramic package 36, thickness t of the Xtal substrate 31 is adjusted so that the predetermined frequency temperature characteristic may be acquired. Next, as shown in drawing 6 (e), the surface acoustic element of drawing 6 (b) is closed by covering a ceramic package 36 with a lid 37.

[0037] Drawing 7 is the block diagram showing the outline configuration of the manufacturing installation of the surface acoustic element concerning the 4th operation gestalt of this invention. In drawing 7, while up electrode 42a and lower electrode 42b are prepared in a chamber 41 and up electrode 42a is grounded, lower electrode 42b is connected to the RF power source 44 through the capacitor 43. Here, the sample 48 used as a processing object is laid in lower electrode 42b.

[0038] While the thickness measurement section 45 which measures thickness t of the Xtal substrate of a sample 48 is formed in a chamber 41, the RF power source 44 is connected to RF power control section

46. Here, the thickness adjustment data 47 are formed in RF power control section 46, and with reference to the thickness adjustment data 47, in it, RF power control section 46 controls the power and impression time amount of the RF power source 44 so that the measurement result of the thickness measurement section 45 serves as predetermined thickness. Here, drawing 3 and data as shown in 4 can be registered as thickness adjustment data 47.

[0039] When adjusting the frequency temperature characteristic of a surface acoustic element, it lays on lower electrode 42b by making the surface acoustic element of the process of drawing 6 (c) into a sample 48, and the pitch P of the IDT electrode of a surface acoustic element is inputted into RF power control section 46. And performing the exhaust air in a chamber 41, etching gas, such as fluorine gas, is introduced in a chamber 41, and RF power of lower electrode 42b is impressed.

[0040] RF power control section 46 compares the measurement result from the thickness measurement section 45 with the thickness adjustment data 47, if RF power is impressed to lower electrode 42b. And if thickness t of the Xtal substrate reaches the minimal value of the frequency temperature anomaly range, it will stop impression of RF power. Drawing 8 is drawing showing the relation of the Eulerian angle of a surface acoustic element and propagation loss concerning the 5th operation gestalt of this invention. In addition, this 5th operation gestalt can be made to enlarge thickness of an IDT electrode, without spoiling the temperature characteristic by setting H/λ as the range of $0.01 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$, while reducing the Xtal Leakey wave propagation loss by setting Eulerian angle θ as the range of 15 minutes $[20] < \theta < 16$ degrees.

[0041] In drawing 8, if Eulerian angle θ from which a propagation loss becomes the minimum becomes 40 minutes about 15 degrees and takes 20 minutes into consideration as variation in Eulerian angle θ at the time of a cut, the range of 15 minutes $[20] < \theta < 16$ degrees will turn into range where a propagation loss is the smallest. Thus, the good temperature characteristic can be acquired, without bulk radiation becoming small and adjusting the Xtal thickness, when a propagation loss is small.

[0042] On the other hand, in order to acquire the good temperature characteristic since bulk radiation becomes large if a propagation loss becomes large, it may be made to adjust Xtal thickness. Drawing 9 is drawing showing an example of the relation of the temperature of a surface acoustic element and the frequency temperature anomaly concerning the 5th operation gestalt of this invention. Here, it was referred to as $H/\lambda = 0.011$. In drawing 9, the frequency temperature anomaly is settled in the range of -10-60ppm in the range of -40-90 degree C also in any for 42 minutes 30 minutes and $\theta = 15$ degrees $\theta = 15$ degrees.

[0043] On the other hand, the frequency temperature anomaly range of ST cut is about 140 ppm at -40-90 degree C, and the result of drawing 9 shows the good temperature characteristic from ST cut. As a result of inquiring furthermore, when it was the range of $0.01 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ at 15 minutes $[20] < \theta < 16$ degrees, excelling the frequency temperature characteristic of ST cut was checked.

[0044] Moreover, since a propagation loss is not zero even if it is 15 minutes $[20] < \theta < 16$ degrees, although association with thickness mode is slight, it exists. Therefore, even if it is this case, the frequency temperature anomaly range is further improvable by adjusting the Xtal thickness. Thus, according to the 5th operation gestalt mentioned above, it can respond to a RF, and a propagation loss is small, H/λ is large, and the surface acoustic wave with which the frequency temperature characteristic used the good Xtal Leakey wave can be offered.

[0045] Drawing 10 is drawing showing the relation of the Eulerian angle of a surface acoustic element and propagation loss concerning the 6th operation gestalt of this invention. In addition, this 6th operation gestalt can be made to enlarge thickness of an IDT electrode, without spoiling the temperature characteristic by setting H/λ as the range of $0.0055\theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ and $0.01 < H/\lambda$, while increasing an electromechanical coupling coefficient by setting Eulerian angle θ as the range of $16 \leq \theta \leq 23$ degrees.

[0046] In drawing 10, when it considers as an Eulerian angle (0θ , 0), above 16 degrees, θ increases a propagation loss in monotone and increases an electromechanical coupling coefficient to

$\theta = 23$ degrees. On the other hand, at $\theta > 23$ degrees, an electromechanical coupling coefficient decreases and a propagation loss increases further. For this reason, at $\theta > 23$ degrees, there are few advantages as a surface acoustic element, and in order to enlarge an electromechanical coupling coefficient, permitting the increment in a propagation loss, it is desirable that it is $\theta \leq 23$ degrees. [0047] Here, if an electromechanical coupling coefficient is large, when frequency adjustable width of face can enlarge and it uses as a filter, bandwidth can be enlarged in the oscillator circuit using a surface acoustic element. On the other hand, if H/λ is small, in order for the reflection coefficient in an electrode to become small and to secure sufficient amount of reflection, many electrode numbers are needed. At $\theta \geq 16$ degrees, since a propagation loss increases, it becomes important to make a propagation path as small as possible.

[0048] For that purpose, the reflection coefficient in an electrode is enlarged, and it is necessary to secure sufficient amount of reflection by the small electrode number, and it necessary to enlarge H/λ . That is, at $16 \leq \theta \leq 23$ degrees, there is an advantage that an electromechanical coupling coefficient can be enlarged, a propagation path is made small by enlarging H/λ , and effect of an increment of a propagation loss can be made small.

[0049] However, the increment in a propagation loss also means that bulk radiation becomes large in connection with the Leakey wave propagation. If bulk radiation becomes large, in order to predict that it becomes impossible to disregard association with thickness mode and to acquire the good temperature characteristic, it is desirable to adjust Xtal thickness. Drawing 11 is drawing showing an example of the relation of the temperature of a surface acoustic element and the frequency temperature anomaly concerning the 6th operation gestalt of this invention. in drawing 11, if the Xtal thickness is adjusted so that the good temperature characteristic may be acquired, also in $H/\lambda = 0.030$ and any of $\theta = 20$ degrees, the frequency temperature anomaly range can be set to 140 ppm or less for 48 minutes 36 minutes and $H/\lambda = 0.025$ and $\theta = 18$ degrees $H/\lambda = 0.015$ and $\theta = 17$ degrees, and the good temperature characteristic can obtain from ST cut.

[0050] As a result of inquiring furthermore, as in $16 \leq \theta \leq 23$ degrees showed to drawing 12, when H/λ was the range of $0.0055\theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ and $0.01 < H/\lambda$, excelling the frequency temperature characteristic of ST cut was checked. Thus, while becoming possible to enlarge an electromechanical coupling coefficient according to the 6th operation gestalt mentioned above, by enlarging H/λ , enlarging a reflection coefficient and making a propagation path small, effect of an increment of a propagation loss can be made small, bandwidth is large and the surface acoustic wave using the Xtal Leakey wave which has the good frequency temperature characteristic can be offered.

[0051]

[Effect of the Invention] The clock frequency of a surface acoustic element can be raised easily, without according to this invention, being able to adjust the frequency temperature anomaly range only by adjusting the thickness of the Xtal substrate, and complicating a production process, as explained above.

[Translation done.]

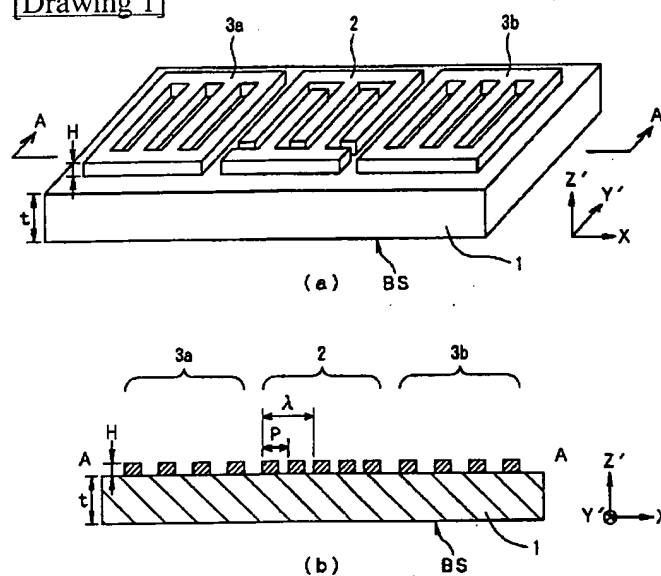
* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

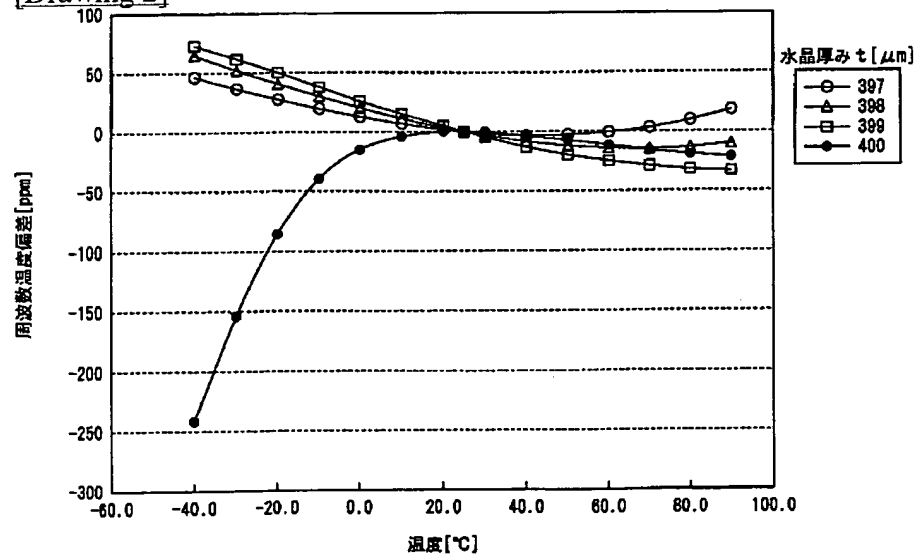
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

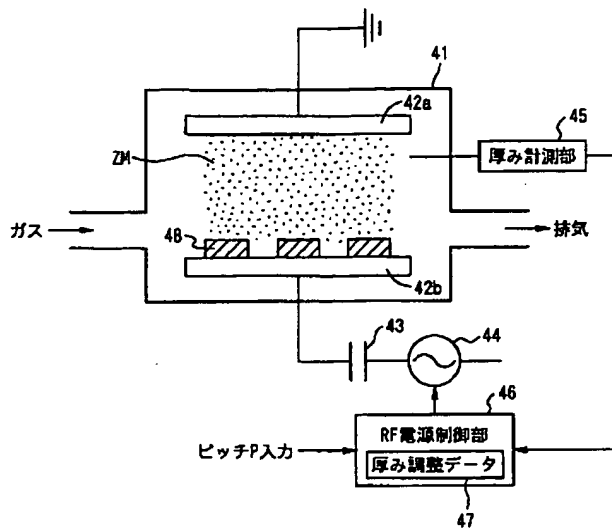
[Drawing 1]



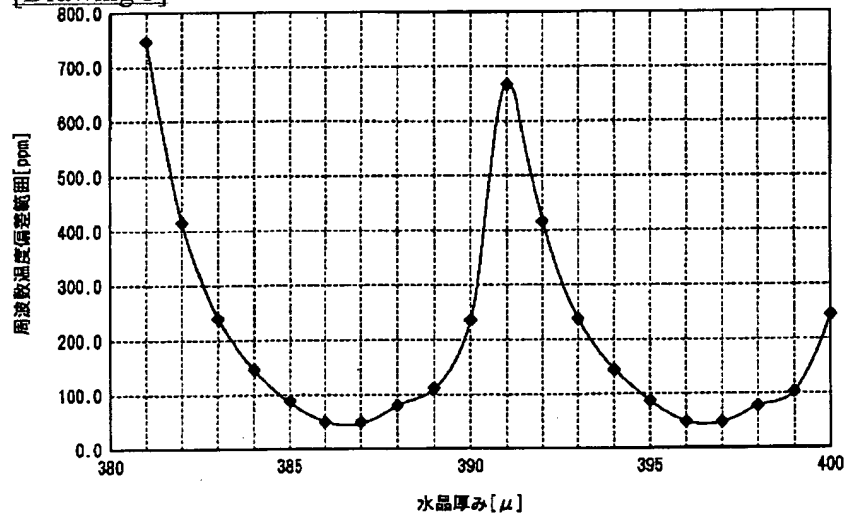
[Drawing 2]



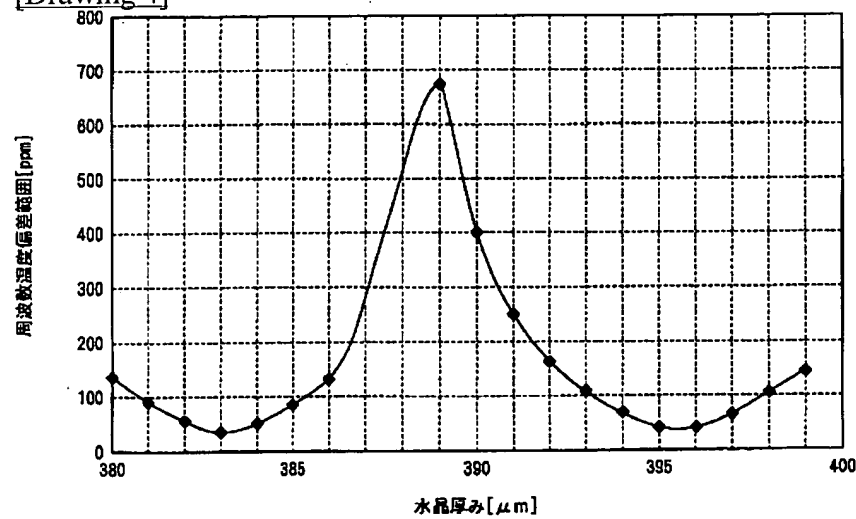
[Drawing 7]



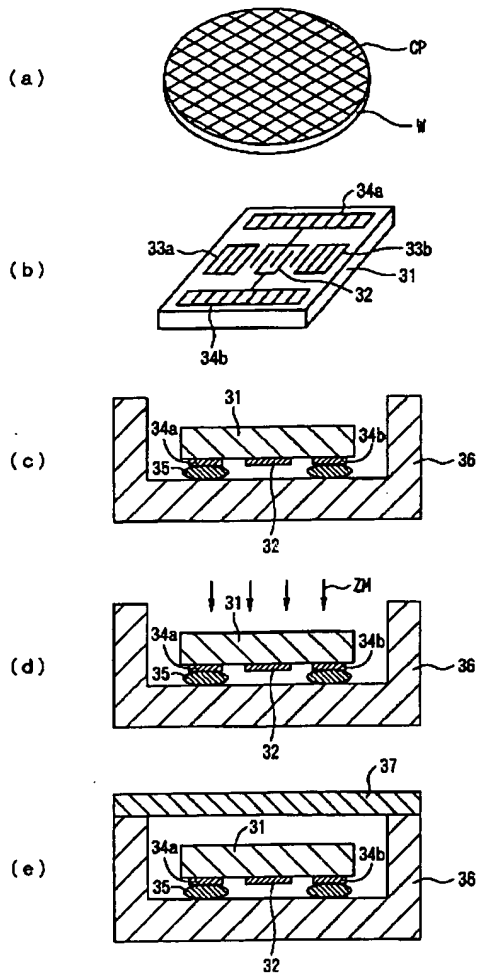
[Drawing 3]



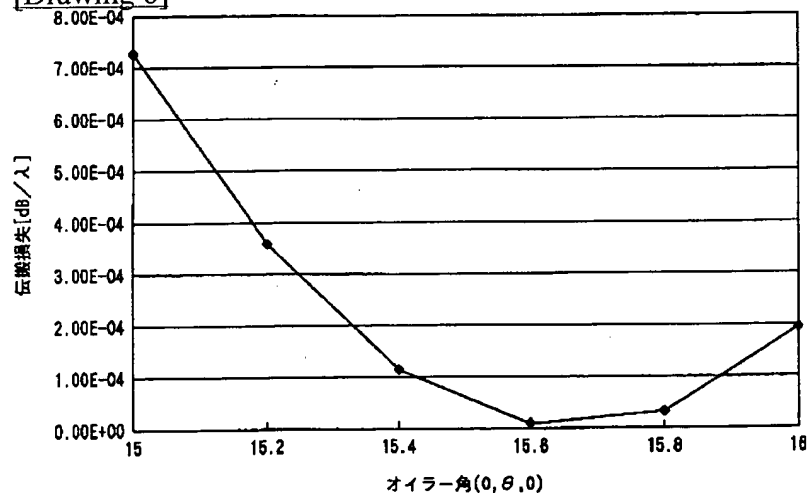
[Drawing 4]



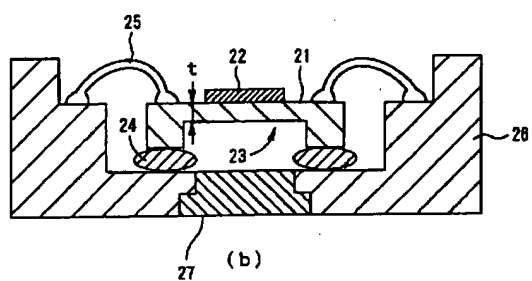
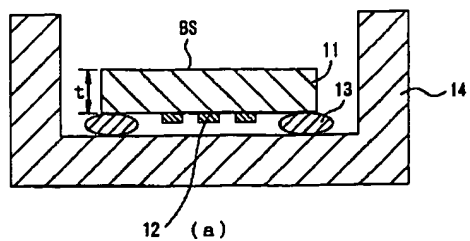
[Drawing 6]



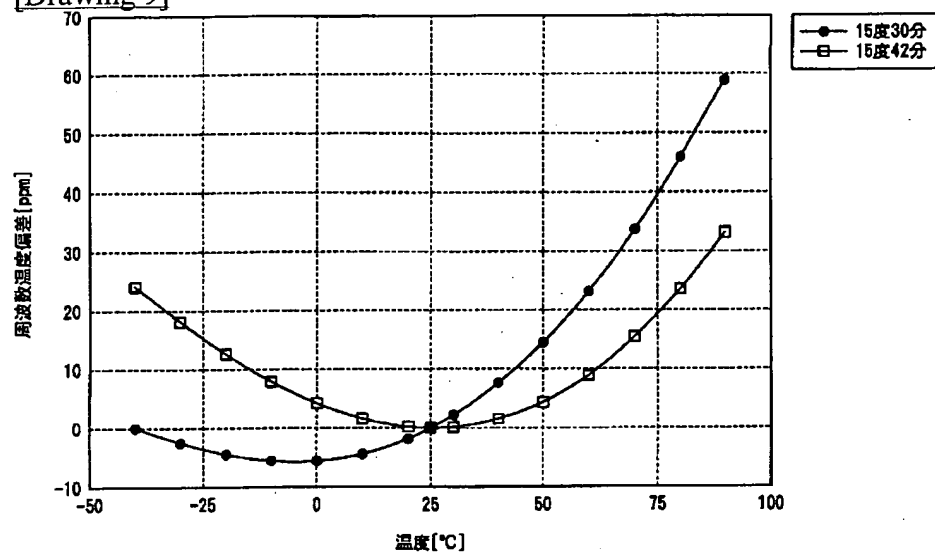
[Drawing 8]



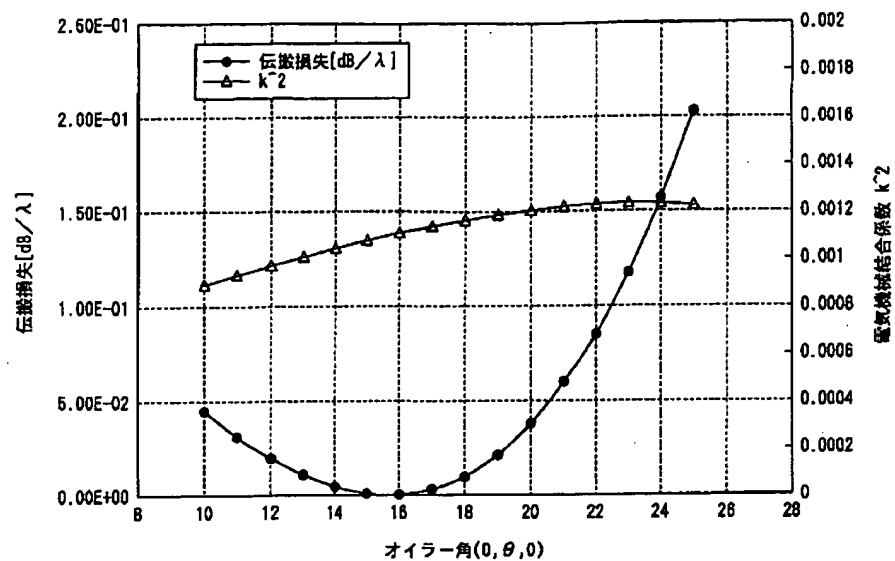
[Drawing 5]



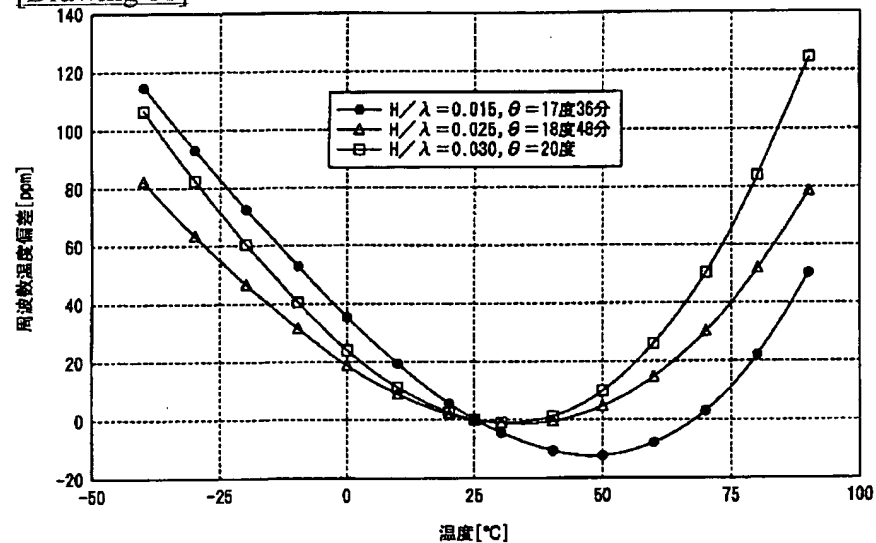
[Drawing 9]



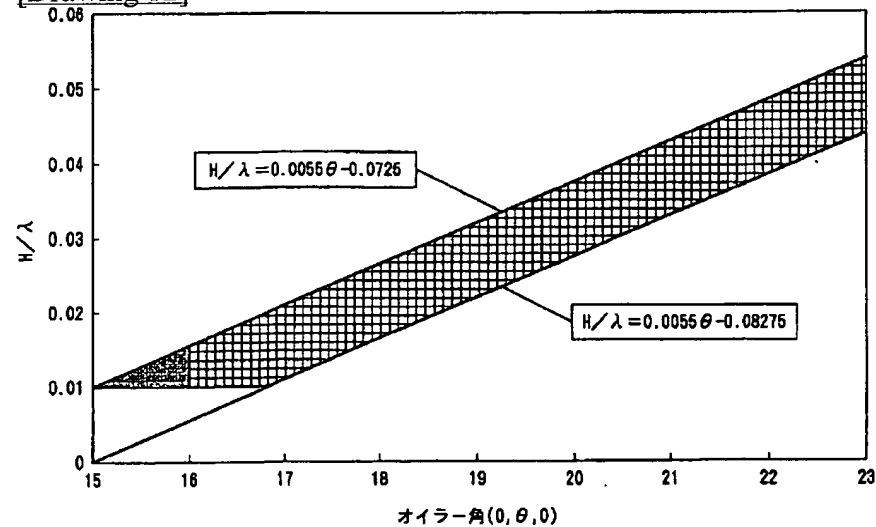
[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Drawing 12]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-69380

(P2003-69380A)

(43)公開日 平成15年3月7日(2003.3.7)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 3 H	9/25	H 0 3 H	C 5 J 0 9 7
	3/10		
	9/145		C

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2001-252028(P2001-252028)

(22)出願日 平成13年8月22日(2001.8.22)

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 神名 重男

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(74)代理人 100095728

弁理士 上柳 雅彦 (外2名)

Fターム(参考) 5J097 AA21 AA31 AA37 BB11 DD28

EE04 EE09 GG02 GG07 HB03

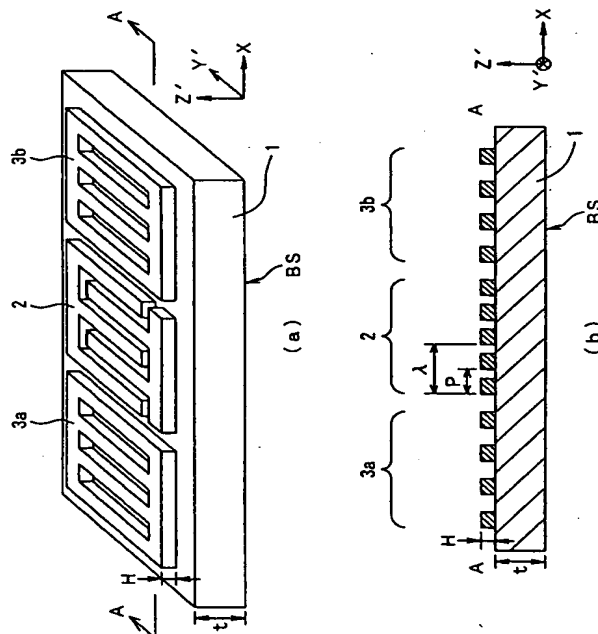
KK07 KK09 KK10

(54)【発明の名称】 弾性表面波素子、弾性表面波素子を用いた通信装置、弾性表面波素子の製造装置および弾性表面波素子の製造方法

(57)【要約】

【課題】 水晶リーキー波を用いた弾性表面波素子の周波数温度特性を容易に改善する。

【解決手段】 水晶厚み t の調整量をIDT波長 λ に対して、 $0 \sim 1 \lambda$ の間にするこゝで、周波数温度偏差範囲を極小値に調整する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 オイラー角が(0、15～23度、0)にカットされ、厚みが所定の周波数温度偏差範囲に収まるように調整された水晶基板と、

前記水晶基板上に形成され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特徴とする弾性表面波素子。

【請求項2】 オイラー角(0、 θ 、0)が15度20分 θ <16度にカットされた水晶基板と、

IDT波長 λ とIDT電極の厚みHとが、 $0.01 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ となるように設定され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特徴とする弾性表面波素子。

【請求項3】 オイラー角(0、 θ 、0)が16度 $\leq \theta \leq 23$ 度にカットされた水晶基板と、

IDT波長 λ とIDT電極の厚みHとが、 $0.01 < H/\lambda$ 、かつ、 $0.0055\theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ となるように設定され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特徴とする弾性表面波素子。

【請求項4】 所定の周波数温度偏差範囲に収まるように、前記IDT電極の形成面と対向する全ての面に対して、前記水晶基板の厚みの調整が行われていることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項記載の弾性表面波素子。

【請求項5】 前記IDT電極の形成領域よりも大きい面積を有する凹部が、前記IDT電極の形成面と対向する面に設けられ、所定の周波数温度偏差範囲に収まるように、前記凹部に対して前記水晶基板の厚みの調整が行われていることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項記載の弾性表面波素子。

【請求項6】 前記水晶基板の厚みの調整量が、0～1 λ であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項記載の弾性表面波素子。

【請求項7】 弾性表面波素子が周波数選択フィルタとして用いられ、

前記弾性表面波素子は、

オイラー角が(0、15～23度、0)にカットされ、厚みが所定の周波数温度偏差範囲に収まるように調整された水晶基板と、

前記水晶基板上に形成され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特徴とする弾性表面波素子を用いた通信装置。

【請求項8】 エッチングガスを導入するチャンバと、前記チャンバ内に設けられた電極と、

前記電極にRFパワーを印加するRF電源と、水晶基板のエッチング量が所定の周波数温度偏差範囲に収まるように、前記RF電源のパワーおよび印加時間を制御するRF電源制御部とを備えることを特徴とする弾性表面波素子の製造装置。

【請求項9】 オイラー角が(0、15～23度、0)の水晶単結晶の主表面上の表面波の伝搬方向に沿って、基板内部にエネルギーを放射しながら伝搬するリーキー波を励振するための少なくとも1対のIDT電極が配置された弾性表面波素子の製造方法において、

所定の周波数温度特性に収まるように、前記IDT電極の形成面と対向する面の水晶厚みを調整することを特徴とする弾性表面波素子の製造方法。

【請求項10】 オイラー角が(0、15～23度、0)にカットされ、IDT電極が形成された水晶基板を、前記IDT電極が下を向くように、パッケージに固着する工程と、

所定の周波数温度特性に収まるように、前記水晶基板の裏面をエッチングする工程とを備えることを特徴とする弾性表面波素子の製造方法。

【請求項11】 オイラー角が(0、15～23度、0)にカットされ、IDT電極が形成された水晶基板を、前記IDT電極が上を向くように、開口部が形成されたパッケージに固着する工程と、

所定の周波数温度特性に収まるように、前記開口部を介して前記水晶基板の裏面をエッチングする工程とを備えることを特徴とする弾性表面波素子の製造方法。

【請求項12】 前記水晶基板の厚みの調整量が、0～1 λ であることを特徴とする請求項9～11のいずれか1項記載の弾性表面波素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、弾性表面波素子、弾性表面波素子を用いた通信装置、弾性表面波素子の製造装置および弾性表面波素子の製造方法に関し、携帯電話などにおける周波数選別フィルタ、キーレスエントリーシステムなどにおける発振器、共振子などに適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来の水晶リーキー波を用いた弾性表面波素子では、周波数温度特性を安定化するため、特開平2-194714号公報には、カット角を16度5分に設定し、 $H/\lambda = 0.005 \pm 0.001$ とする方法が開示されている。ここで、Hは、IDT電極の厚み、 λ

は、IDT波長である。

【0003】また、特公平8-17303号公報では、IDT電極を水晶内部に埋めこむことにより、IDT電極の厚みHを大きくし、抵抗値を下げる方法が開示されている。また、特開平7-183760号公報には、カット角を16°～18.50°の範囲に設定することで、周波数温度特性を改善するとともに、 H/λ を0.01～0.03の範囲に設定することで、反射率を上げて弾性表面波素子を小型化する方法が開示されている。そして記載はないが、これは抵抗値の増加を抑制する効

果もある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平2-194714号公報の方法では、この弾性表面波素子を、数百MHz帯のみではなく、1GHz以上の周波数にも適用すると、水晶リーキー波の速度が約3950 m/sであるから、

周波数 F [Hz] = 速度 [m/s] / 波長 λ [m]

という計算式により、例えば、周波数 F が1GHzでは、 $\lambda = 3.95 \mu\text{m}$ となる。このため、 $H/\lambda = 0.05$ であるから、 $H = 197.5$ オングストロームと非常に薄くなり、抵抗値が大きくなるという問題があった。

【0005】また、IDT電極の厚み H が薄すぎると、ボンディングが付着しないため、ボンディング位置の電極のみを厚くする工程が必要となり、製造工程が複雑になるという問題があった。また、特公平8-17303号公報では、IDT電極を埋め込むためのグルーブを設けた後に、IDT電極を形成するため、IDT電極形成の工程が複雑になり、歩留まりが低下するという問題があった。

【0006】また、特開平7-183760号公報の方法では、Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 (1996) pp. 3002-3005に記載されているように、LSTカットで利用しているリーキー波は、厚みモードと結合することが予測されている。この結合により、温度特性が変化するため、良好な温度特性が得られないことが予想される。

【0007】そこで、本発明の第1の目的は、水晶リーキー波を用いた弾性表面波素子の周波数温度特性を容易に改善することが可能な弾性表面波素子、弾性表面波素子を用いた通信装置、弾性表面波素子の製造装置および弾性表面波素子の製造方法を提供することである。また、本発明の第2の目的は、伝搬損失及び抵抗値が小さくことができ、温度特性も良好な水晶リーキー波を用いた弾性表面波素子、弾性表面波素子を用いた通信装置、弾性表面波素子の製造装置および弾性表面波素子の製造方法を提供することである。

【0008】また、本発明の第3の目的は、電気機械結合係数を大きくするとともに、抵抗値を小さくことができ、温度特性も良好な水晶リーキー波を用いた弾性表面波素子、弾性表面波素子を用いた通信装置、弾性表面波素子の製造装置および弾性表面波素子の製造方法を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するために、請求項1記載の弾性表面波素子によれば、オイラー角が $(0, 15 \sim 23 \text{度}, 0)$ にカットされ、厚みが所定の周波数温度偏差範囲に収まるように調整された水晶基板と、前記水晶基板上に形成され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特

徴とする。

【0010】これにより、水晶基板の厚みを調整するだけで、周波数温度偏差範囲を調整することができ、製造工程を複雑化することなく、弾性表面波素子の動作周波数を容易に向上させることができる。また、請求項2記載の弾性表面波素子によれば、オイラー角 $(0, \theta, 0)$ が $15 \text{度} 20 \text{分} < \theta < 16 \text{度}$ にカットされた水晶基板と、IDT波長 λ とIDT電極の厚み H とが、 $0.01 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ となるように設定され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特徴とする。

【0011】これにより、良好な温度特性を確保しつつ、伝搬損失及び抵抗値を小さくすることができ、製造工程を複雑化することなく、弾性表面波素子の動作周波数を容易に向上させることができる。また、請求項3記載の弾性表面波素子によれば、オイラー角 $(0, \theta, 0)$ が $16 \text{度} \leq \theta \leq 23 \text{度}$ にカットされた水晶基板と、IDT波長 λ とIDT電極の厚み H とが、 $0.01 < H/\lambda$ 、かつ、 $0.0055\theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055\theta - 0.0725$ となるように設定され、前記水晶基板にリーキー波を励振するIDT電極とを備えることを特徴とする。

【0012】これにより、良好な温度特性を確保しつつ、電気機械結合係数を大きくするとともに、抵抗値を小さくすることができ、製造工程を複雑化することなく、弾性表面波素子の動作周波数を容易に向上させることができる。また、請求項4記載の弾性表面波素子によれば、所定の周波数温度偏差範囲に収まるように、前記IDT電極の形成面と対向する全ての面に対して、前記水晶基板の厚みの調整が行われていることを特徴とする。

【0013】これにより、IDT電極を水晶基板に形成した後、その水晶基板の裏面をエッチングするだけで、弾性表面波素子の周波数温度偏差範囲を調整することができる。また、請求項5記載の弾性表面波素子によれば、前記IDT電極の形成領域よりも大きい面積を有する凹部が、前記IDT電極の形成面と対向する面に設けられ、所定の周波数温度偏差範囲に収まるように、前記凹部に対して前記水晶基板の厚みの調整が行われていることを特徴とする。

【0014】これにより、弾性表面波素子の周波数温度偏差範囲を調整するために、水晶基板の裏面をエッチングする場合においても、IDT電極が上を向くようにして弾性表面波素子をマウントすることができ、ワイヤーボンディングを用いて弾性表面波素子を接続することが可能となる。また、請求項6記載の弾性表面波素子によれば、前記水晶基板の厚みの調整量が、 $0 \sim 1 \lambda$ であることを特徴とする。

【0015】これにより、水晶基板の裏面を所定量エッチングするだけで、弾性表面波素子の周波数温度偏差範

囲を極小値に設定することが可能となる。また、請求項 7 記載の弾性表面波素子を用いた通信装置によれば、弾性表面波素子が周波数選択フィルタとして用いられ、前記弾性表面波素子は、オイラー角が $(0, 15 \sim 23$ 度、 $0)$ にカットされ、厚みが所定の周波数温度偏差範囲に収まるように調整された水晶基板と、前記水晶基板上に形成され、前記水晶基板にリーキー波を励振する IDT 電極とを備えることを特徴とする。

【0016】これにより、周波数選択特性を容易に向上させることが可能となるとともに、通信装置の高周波化に容易に対応することが可能となる。また、請求項 8 記載の弾性表面波素子の製造装置によれば、エッチングガスを導入するチャンバと、前記チャンバ内に設けられた電極と、前記電極に RF パワーを印加する RF 電源と、水晶基板のエッチング量が所定の周波数温度偏差範囲に収まるように、前記 RF 電源のパワーおよび印加時間を制御する RF 電源制御部とを備えることを特徴とする。

【0017】これにより、水晶基板の厚みの調整工程を自動化することが可能となり、スループットを向上させることが可能となる。また、請求項 9 記載の弾性表面波素子の製造方法によれば、オイラー角が $(0, 15 \sim 23$ 度、 $0)$ の水晶単結晶の主表面上の表面波の伝搬方向に沿って、基板内部にエネルギーを放射しながら伝搬するリーキー波を励振するための少なくとも 1 対の IDT 電極が配置された弾性表面波素子の製造方法において、所定の周波数温度特性に収まるように、前記 IDT 電極の形成面と対向する面の水晶厚みを調整することを特徴とする。

【0018】これにより、水晶基板の厚みを調整するだけで、周波数温度偏差範囲を調整することができ、製造工程を複雑化することなく、弾性表面波素子の動作周波数を容易に向上させることができる。また、請求項 10 記載の弾性表面波素子の製造方法によれば、オイラー角が $(0, 15 \sim 23$ 度、 $0)$ にカットされ、IDT 電極が形成された水晶基板を、前記 IDT 電極が下を向くように、パッケージに固着する工程と、所定の周波数温度特性に収まるように、前記水晶基板の裏面をエッチングする工程とを備えることを特徴とする。

【0019】これにより、IDT 電極の形成された水晶基板をパッケージにマウントした後、その水晶基板の裏面をエッチングするだけで、弾性表面波素子の周波数温度偏差範囲を調整することができる。また、請求項 11 記載の弾性表面波素子の製造方法によれば、オイラー角が $(0, 15 \sim 23$ 度、 $0)$ にカットされ、IDT 電極が形成された水晶基板を、前記 IDT 電極が上を向くように、開口部が形成されたパッケージに固着する工程と、所定の周波数温度特性に収まるように、前記開口部を介して前記水晶基板の裏面をエッチングする工程とを備えることを特徴とする。

【0020】これにより、IDT 電極が上を向くように

して弾性表面波素子をパッケージにマウントした場合においても、水晶基板の裏面の厚みを調整することができ、ワイヤーボンディングを可能としつつ、弾性表面波素子の周波数温度偏差範囲を調整することができる。また、請求項 12 記載の弾性表面波素子の製造方法によれば、前記水晶基板の厚みの調整量が、 $0 \sim 1 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0021】これにより、水晶基板の裏面を所定量エッチングするだけで、弾性表面波素子の周波数温度偏差範囲を極小値に設定することが可能となる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態に係る弾性表面波素子について図面を参照しながら説明する。図 1 (a) は、本発明の第 1 実施形態に係る弾性表面波素子の概略構成を示す斜視図、図 1 (b) は図 1 (a) の A-A 線で切断した断面図である。図 1 において、水晶基板 1 の主表面上には、IDT 電極 2 および反射器電極 3 a、3 b が形成されている。なお、 t は水晶基板 1 の厚み、 P は IDT 電極 2 のピッチ、 λ は IDT 波長、 H は IDT 電極 2 の厚みである。ここで、IDT 波長 λ は、IDT 電極 2 のピッチ P の 2 倍となる。

【0023】また、この水晶基板 1 は、オイラー角が $(0, \theta = 15 \sim 23$ 度、 $0)$ となるように切り出されている。ここで、水晶基板 1 の厚み t は、周波数温度特性が安定するように調整されている。すなわち、IDT 電極 2 面と対向する面 BS は、通常、パッケージへの接着面として利用されるが、この対向面 BS を必要に応じてエッチングし、周波数温度特性が安定するように、水晶基板 1 の厚みをチップごとに調整する。

【0024】ここで、水晶基板 1 の厚みの調整は、水晶基板 1 全体に対して行ってもよく、リーキー波の温度特性を左右する IDT 電極 2 の範囲に限定して行うようにしてもよい。図 2 は、本発明の第 1 実施形態に係る弾性表面波素子の水晶厚み t と周波数温度偏差との関係を示す図である。なお、この実施例では、オイラー角 $(0, 16, 0)$ 、 $H/\lambda = 0.0101$ とし、水晶厚み $t = 397 \mu\text{m}$ 、 $398 \mu\text{m}$ 、 $399 \mu\text{m}$ 、 $400 \mu\text{m}$ の場合について示した。また、図 2 における周波数温度偏差と、 25°C における周波数 F_0 を基準にして、各温度における周波数 F を、

$$\text{周波数温度偏差 [ppm]} = (F - F_0) / F_0 \times 10^6$$

として規格化した値である。

【0025】図 2 において、水晶厚み $t = 397 \mu\text{m}$ 、 $398 \mu\text{m}$ 、 $399 \mu\text{m}$ の場合は、温度が $-40 \sim 90^\circ\text{C}$ の範囲で、周波数温度偏差が $80 \sim -40 \text{ ppm}$ の範囲に収まっているのに対し、水晶厚み $t = 400 \mu\text{m}$ の場合は、温度が $-40 \sim 90^\circ\text{C}$ の範囲で、周波数温度偏差が $-250 \sim -20 \text{ ppm}$ の範囲を変動する。このため、この実施例では、水晶厚み t を $397 \sim 399 \mu\text{m}$

とすることにより、周波数温度特性を安定化させることができる。

【0026】図3、4は、本発明の一実施形態に係る弾性表面波素子の水晶厚み t と周波数温度偏差範囲との関係を示す図である。なお、周波数温度偏差範囲は、図2の周波数温度偏差の最大値と最小値の差である。また、図3は、図1のIDT波長 λ が $10\mu\text{m}$ の場合、図4は、図1のIDT波長 λ が $12.5\mu\text{m}$ の場合を示す。また、オイラー角は、いずれのIDT波長 λ についても、 $(0, 16, 0)$ である。

【0027】図3、4において、水晶厚み t を変化させると、IDT波長 λ ごとに、周波数温度偏差範囲の極小値が現れる。すなわち、図3では、IDT波長 $\lambda=10\mu\text{m}$ ごとに極小値が現れ、図4では、IDT波長 $\lambda=12.5\mu\text{m}$ ごとに極小値が現れている。これにより、水晶厚み t の調整量をIDT波長 λ に対して、 $0\sim 1\lambda$ の間に設定することで、周波数温度偏差範囲を極小値に調整することができる。なお、周波数温度偏差範囲の極小値は、IDT波長 λ ごとに現れるため、水晶厚み t の調整量を $(n-1)\times\lambda\sim n\times\lambda$ (n :整数)の間で行ってもよい。

【0028】ここで、水晶厚み t を調整することで得られる周波数温度特性変化量の極小値は、 H/λ と θ の関係を満たす範囲において最少値とすることができる。すなわち、水晶厚み t と H/λ と θ とを調整することにより、IDT電極2の厚み H を極端に薄くすることなく、 1GHz 以上の動作を可能とし、高精度な周波数温度特性を容易に得ることができる。

【0029】このように、上述した第1実施形態によれば、IDT電極2の抵抗値の増大を抑制しつつ、高い歩留まりで製造でき、周波数温度特性の良好な水晶リレー波を利用した弾性表面波を提供することができる。図5(a)は、本発明の第2実施形態に係る弾性表面波素子の概略構成を示す断面図である。図5(a)において、IDT電極12が形成された水晶基板11が、IDT電極12が下を向くようにして、接着剤13を介してセラミックパッケージ14に接着されている。ここで、例えば、フッ素ガスを利用したプラズマエッチングを行うことにより、IDT電極12の形成面と対向する面BSがエッチングされ、所定の周波数温度特性になるように、水晶基板11の厚み t が調整されている。

【0030】例えば、所定の周波数温度特性を図2の水晶厚み $t=397\mu\text{m}$ の周波数温度特性に設定する場合、 $397\mu\text{m}$ に水晶厚みのバラツキを考慮した厚みを加えた水晶厚さ t の弾性表面波素子を作成する。そして、この弾性表面波素子をセラミックパッケージ14に接着した後、水晶厚み t が $397\mu\text{m}$ になるように、プラズマエッチングを行う。

【0031】なお、水晶基板11をセラミックパッケージ14に接着する前に、水晶基板11の水晶厚み t を調

整してもよい。また、この場合には、IDT電極12の形成面を上にし、接着剤13がIDT電極12の下部に存在しないように、セラミックパッケージ14に接着することができる。図5(b)は、本発明の第3実施形態に係る弾性表面波素子の概略構成を示す断面図である。図5(b)において、IDT電極22が形成された水晶基板21が、IDT電極22が上を向くようにして、接着剤24を介してセラミックパッケージ26に接着されている。また、水晶基板21の電極は、ボンディングワイヤ25を介してセラミックパッケージ26の電極と接続されている。

【0032】ここで、水晶基板21の裏面には、少なくともIDT電極22の形成範囲に対応するように、凹部23が形成され、この凹部23における水晶基板21の厚み t は、所定の周波数温度特性になるように設定されている。また、セラミックパッケージ26には、水晶基板21の凹部23に対応するように、開口部27が設けられている。そして、水晶基板21をセラミックパッケージ26に接着後、この開口部27を介して水晶基板21の裏面のエッチングを行うことにより、凹部23の水晶基板21の厚み t を調整することができる。

【0033】これにより、IDT電極22の形成面にワイヤボンディングを行うことが可能となるとともに、接着剤24とIDT電極22に対向する面とを確実に分離することができる。なお、水晶基板21をセラミックパッケージ26に接着材24にて接着する前に、水晶基板21の裏面から厚み t の調整を行ってもよい。この場合、セラミックパッケージ26の開口部27はなくてもよい。

【0034】図6は、本発明の第2実施形態に係る弾性表面波素子の製造工程を示す斜視図および断面図である。図6(a)において、水晶ウェハWに対して、弾性表面波素子が形成されると、この水晶ウェハWのダイシングを行うことにより、弾性表面波素子をチップCPとして切り出す。

【0035】この結果、図6(b)の弾性表面波素子が形成されたチップCPが得られる。ここで、図6(b)の弾性表面波素子には、IDT電極32、反射器電極33a、33bおよび引き出し電極34a、34bが、水晶基板31上に形成されている。次に、図6(c)に示すように、IDT電極32が下を向くようにして、図6(b)の水晶基板31を接着剤34を介してセラミックパッケージ36に接着する。

【0036】次に、図6(d)に示すように、図6(b)の水晶基板31がセラミックパッケージ36に接着された状態で、水晶基板31の裏面にプラズマエッチングZMを行うことにより、所定の周波数温度特性が得られるように、水晶基板31の厚み t を調整する。次に、図6(e)に示すように、セラミックパッケージ36に蓋37をすることにより、図6(b)の弾性表面波

素子を封止する。

【0037】図7は、本発明の第4実施形態に係る弾性表面波素子の製造装置の概略構成を示すブロック図である。図7において、チャンバ41内には、上部電極42aおよび下部電極42bが設けられ、上部電極42aは接地されるとともに、下部電極42bはコンデンサ43を介してRF電源44に接続されている。ここで、下部電極42bには、処理対象となる試料48が載置される。

【0038】チャンバ41には、試料48の水晶基板の厚み t を計測する厚み計測部45が設けられるとともに、RF電源44はRF電源制御部46に接続されている。ここで、RF電源制御部46には、厚み調整データ47が設けられ、RF電源制御部46は、厚み調整データ47を参照し、厚み計測部45の計測結果が所定の厚みとなるように、RF電源44のパワーや印加時間を制御する。ここで、厚み調整データ47として、例えば、図3、4に示すようなデータを登録することができる。

【0039】弾性表面波素子の周波数温度特性を調整する場合、例えば、図6(c)の工程の弾性表面波素子を試料48として下部電極42b上に載置し、RF電源制御部46に弾性表面波素子のIDT電極のピッチ P を入力する。そして、チャンバ41内の排気を行いつつ、フッ素ガスなどのエッチングガスをチャンバ41内に導入し、下部電極42bのRFパワーを印加する。

【0040】RF電源制御部46は、下部電極42bにRFパワーを印加すると、厚み計測部45からの計測結果を厚み調整データ47と比較する。そして、水晶基板の厚み t が、周波数温度偏差範囲の極小値に達すると、RFパワーの印加を停止する。図8は、本発明の第5実施形態に係る弾性表面波素子のオイラー角と伝搬損失との関係を示す図である。なお、この第5実施形態は、オイラー角 θ を15度20分 $<\theta<16$ 度の範囲に設定することにより、水晶リーキー波の伝搬損失を低減するとともに、 H/λ を $0.01<H/\lambda<0.0055\theta-0.0725$ の範囲に設定することにより、温度特性を損なうことなく、IDT電極の厚みを大きくできるようにしたものである。

【0041】図8において、伝搬損失が最少になるオイラー角 θ が約15度40分となり、カット時のオイラー角 θ のバラツキとして20分を考慮すると、15度20分 $<\theta<16$ 度の範囲が最も伝搬損失が小さい範囲となる。このように、伝搬損失が小さい場合には、バルク放射が小さくなり、水晶厚みを調整することなく、良好な温度特性を得ることができる。

【0042】一方、伝搬損失が大きくなると、バルク放射が大きくなるため、良好な温度特性を得るために、水晶厚みの調整を行うようにしてもよい。図9は、本発明の第5実施形態に係る弾性表面波素子の温度と周波数温度偏差との関係の一例を示す図である。ここで、 H/λ

$=0.011$ とした。図9において、 $\theta=15$ 度30分および $\theta=15$ 度42分のいずれにおいても、周波数温度偏差は、 $-40\sim90^\circ\text{C}$ の範囲において、 $-10\sim60\text{ppm}$ の範囲に収まっている。

【0043】一方、STカットの周波数温度偏差範囲は、 $-40\sim90^\circ\text{C}$ では、約 140ppm であり、図9の結果は、STカットより良好な温度特性を示す。さらに検討した結果、15度20分 $<\theta<16$ 度では、 $0.01<H/\lambda<0.0055\theta-0.0725$ の範囲であれば、STカットの周波数温度特性よりも優れていることが確認された。

【0044】また、15度20分 $<\theta<16$ 度であっても、伝搬損失はゼロではないため、厚みモードとの結合は僅かではあるが存在する。従って、この場合であっても、水晶厚みを調整することにより、周波数温度偏差範囲をさらに改善することができる。このように、上述した第5実施形態によれば、高周波に対応可能で、伝搬損失が小さく、 H/λ が大きく、周波数温度特性が良好な水晶リーキー波を利用した弾性表面波を提供することができる。

【0045】図10は、本発明の第6実施形態に係る弾性表面波素子のオイラー角と伝搬損失との関係を示す図である。なお、この第6実施形態は、オイラー角 θ を $16^\circ\leq\theta\leq23^\circ$ の範囲に設定することにより、電気機械結合係数を増大させるとともに、 H/λ を $0.0055\theta-0.08275<H/\lambda<0.0055\theta-0.0725$ 、かつ、 $0.01<H/\lambda$ の範囲に設定することにより、温度特性を損なうことなく、IDT電極の厚みを大きくできるようにしたものである。

【0046】図10において、オイラー角 $(0, \theta, 0)$ とした場合、 θ が16度以上では伝搬損失は単調に増加し、電気機械結合係数は、 $\theta=23$ 度まで増加する。一方、 $\theta>23$ 度では、電気機械結合係数が減少し、伝搬損失はさらに増加する。このため、 $\theta>23$ 度では、弾性表面波素子としての利点は少なく、伝搬損失の増加を許容しつつ、電気機械結合係数を大きくするためには、 $\theta\leq23$ 度であることが望ましい。

【0047】ここで、電気機械結合係数が大きいと、弾性表面波素子を用いた発振回路では、周波数可変幅が大きくなることができ、フィルタとして用いた場合には、帯域幅を大きくすることができる。一方、 H/λ が小さいと、電極における反射係数が小さくなり、十分な反射量を確保するには、多くの電極本数が必要となる。 $\theta\geq16$ 度では、伝搬損失が増加するため、伝搬路を可能な限り小さくすることが重要となる。

【0048】そのためには、電極における反射係数を大きくして、少ない電極本数で十分な反射量を確保することが必要となり、 H/λ を大きくする必要がある。すなわち、 $16^\circ\leq\theta\leq23^\circ$ では、電気機械結合係数を大きくできるという利点があり、 H/λ を大きくすること

で伝搬路を小さくし、伝搬損失の増加の影響を小さくできる。

【0049】しかし、伝搬損失の増加は、リーキー波の伝搬に伴いバルク放射が大きくなることも意味する。バルク放射が大きくなると、厚みモードとの結合が無視できなくなることが予測され、良好な温度特性を得るには、水晶厚みの調整を行うことが好ましい。図11は、本発明の第6実施形態に係る弾性表面波素子の温度と周波数温度偏差との関係の一例を示す図である。図11において、良好な温度特性が得られるように、水晶厚みを調整すると、 $H/\lambda = 0.015$ かつ $\theta = 17$ 度 36 分、 $H/\lambda = 0.025$ かつ $\theta = 18$ 度 48 分、 $H/\lambda = 0.030$ かつ $\theta = 20$ 度のいずれにおいても、周波数温度偏差範囲を 140 ppm 以下とすることができ、STカットより良好な温度特性が得ることができる。

【0050】さらに検討した結果、 $16 \text{ 度} \leq \theta \leq 23 \text{ 度}$ の範囲では、図12に示すように、 H/λ が、 $0.0055 \theta - 0.08275 < H/\lambda < 0.0055 \theta - 0.0725$ 、かつ、 $0.01 < H/\lambda$ の範囲であれば、STカットの周波数温度特性よりも優れていることが確認された。このように、上述した第6実施形態によれば、電気機械結合係数を大きくすることが可能となるとともに、 H/λ を大きくして反射係数を大きくし、伝搬路を小さくすることにより、伝搬損失の増加の影響を小さくすることができ、帯域幅が大きく、良好な周波数温度特性を有する水晶リーキー波を利用した弾性表面波を提供することができる。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、水晶基板の厚みを調整するだけで、周波数温度偏差範囲を調整することができ、製造工程を複雑化することなく、弾性表面波素子の動作周波数を容易に向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1(a)は、本発明の第1実施形態に係る弾性表面波素子の概略構成を示す斜視図、図1(b)は図1(a)のA-A線で切断した断面図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係る弾性表面波素子の水晶厚み t と周波数温度偏差との関係を示す図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る弾性表面波素子の水晶厚み t と周波数温度偏差範囲との関係を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る弾性表面波素子の水

晶厚み t と周波数温度偏差範囲との関係を示す図である。

【図5】図5(a)は、本発明の第2実施形態に係る弾性表面波素子の概略構成を示す断面図、図5(b)は、本発明の第3実施形態に係る弾性表面波素子の概略構成を示す断面図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係る弾性表面波素子の製造工程を示す斜視図および断面図である。

【図7】本発明の第4実施形態に係る弾性表面波素子の製造装置の概略構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第5実施形態に係る弾性表面波素子のオイラー角と伝搬損失との関係を示す図である。

【図9】本発明の第5実施形態に係る弾性表面波素子の温度と周波数温度偏差との関係の一例を示す図である。

【図10】本発明の第6実施形態に係る弾性表面波素子のオイラー角と伝搬損失との関係を示す図である。

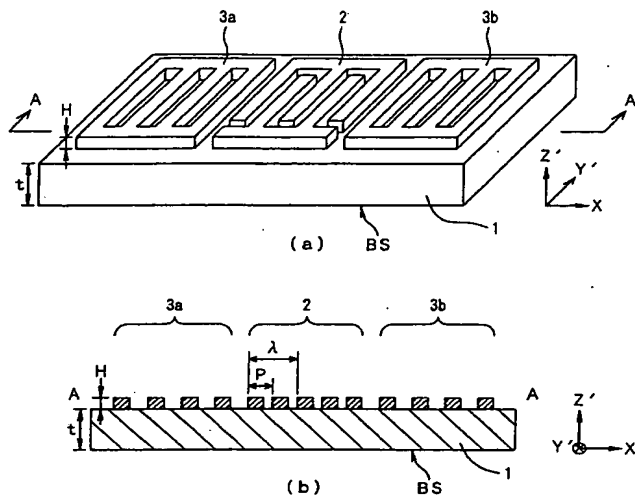
【図11】本発明の第6実施形態に係る弾性表面波素子の温度と周波数温度偏差との関係の一例を示す図である。

【図12】本発明の第6実施形態に係る弾性表面波素子のオイラー角と H/λ との関係を示す図である。

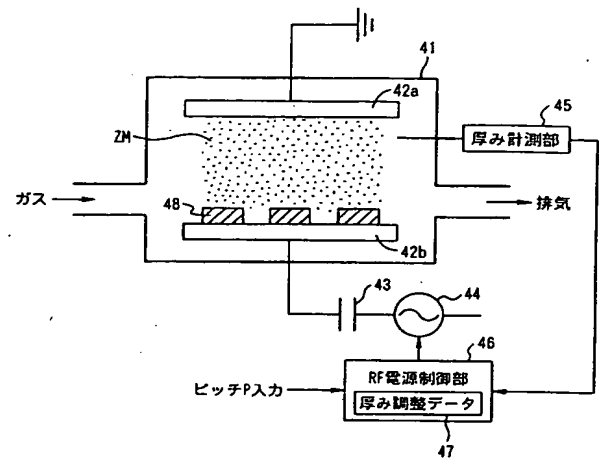
【符号の説明】

- 1、11、21、31 水晶基板
- 2、12、22、32 IDT電極
- 3a、3b、33a、33b 反射器電極
- 13、24、35 接着層
- 14、26、36 セラミックパッケージ
- 23 凹部
- 25 ボンディングワイヤ
- 27 開口部
- W 水晶ウェハ
- CP チップ
- 34a、34b 引き出し電極
- 37 蓋
- 41 チャンバ
- 42a 上部電極
- 42b 下部電極
- 43 コンデンサ
- 44 RF電源
- 45 厚み計測部
- 46 RF電源制御部
- 47 厚み調整データ

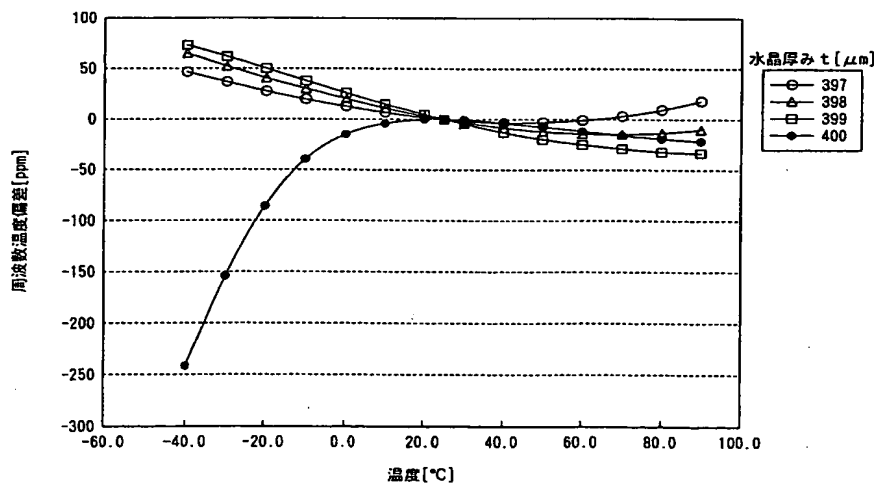
【図1】



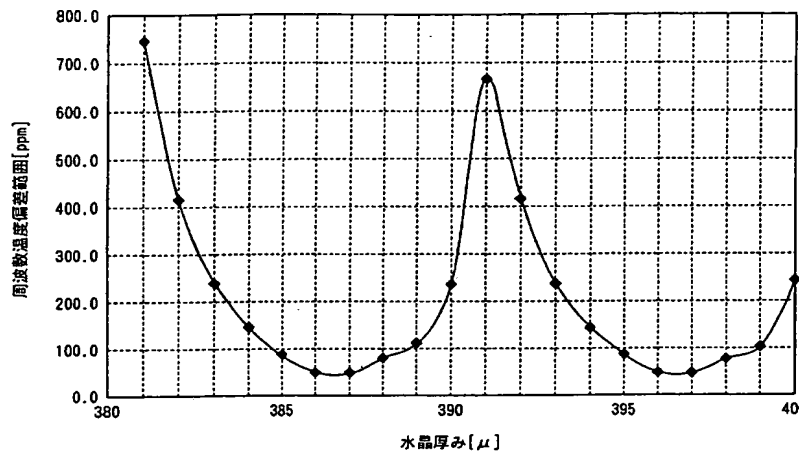
【図7】



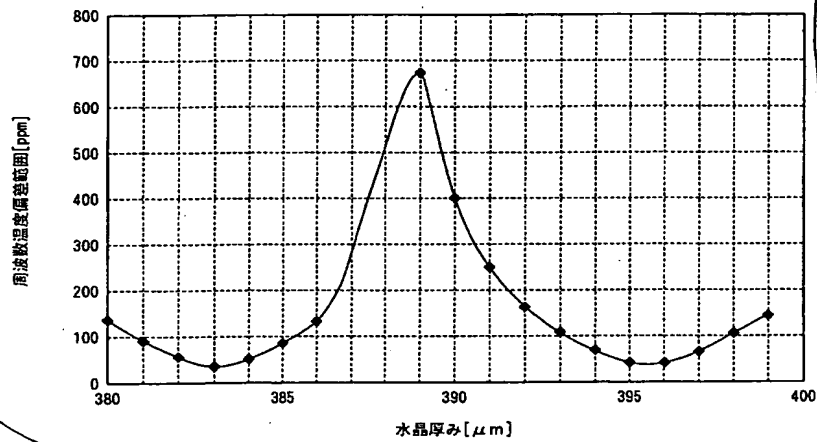
【図2】



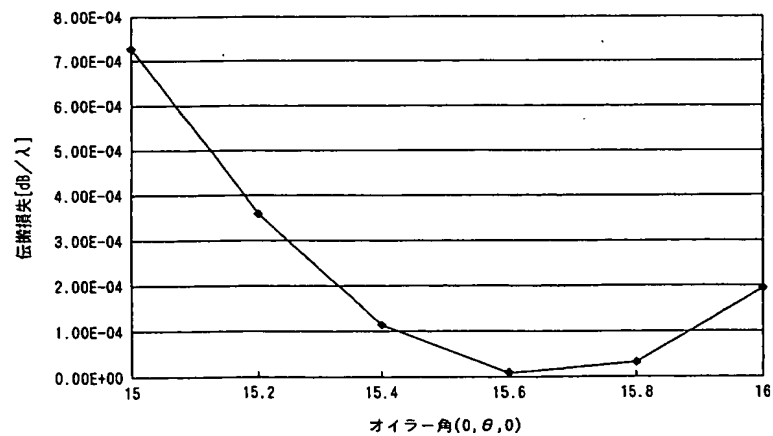
【図3】



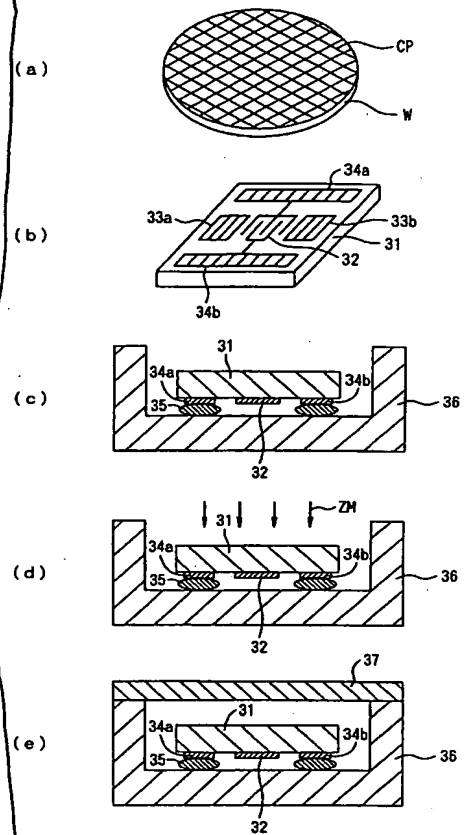
【図4】



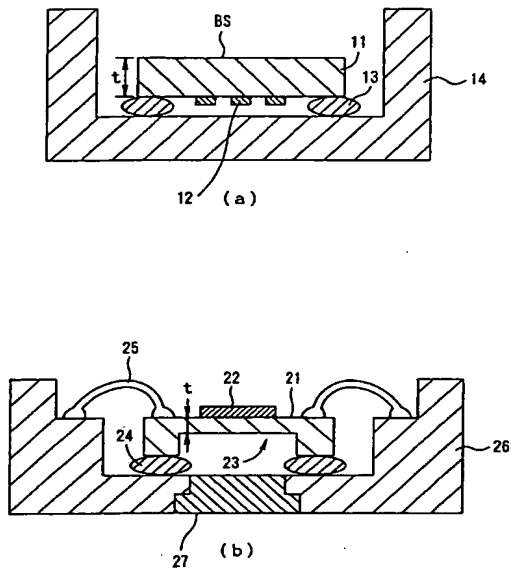
【図8】



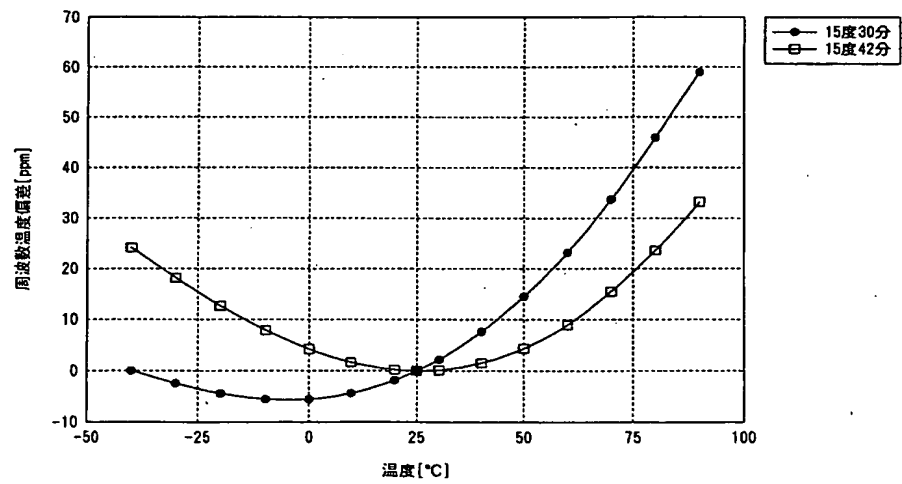
【図6】



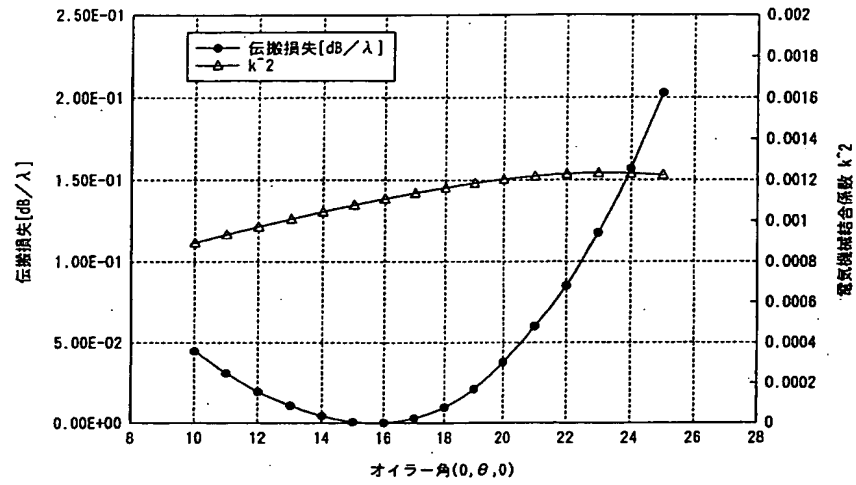
【図5】



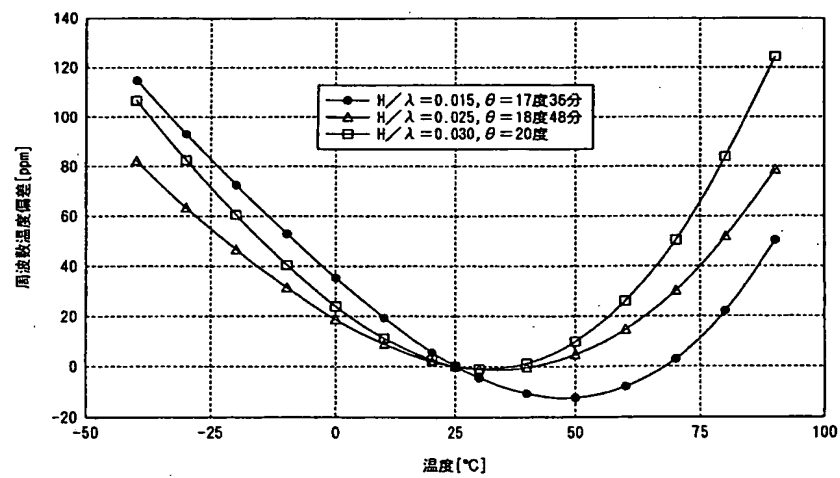
【図9】



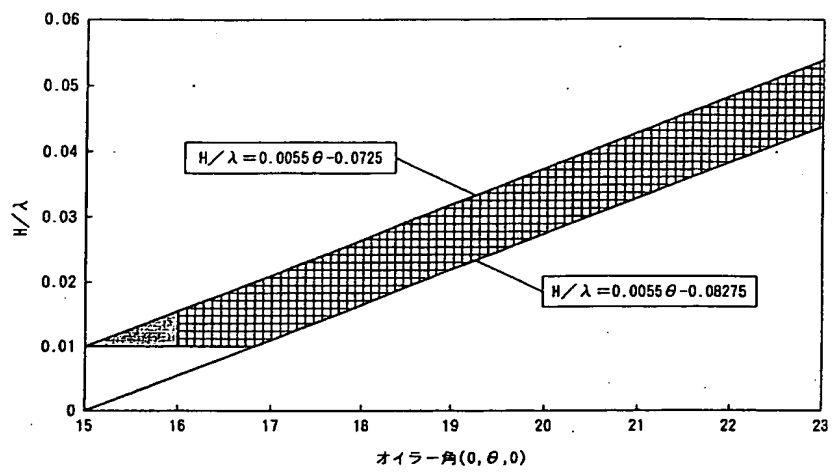
【図10】



【図11】



【図12】



[0022]

[Embodiments of Invention]

Below, elastic surface wave elements of embodiments of the present invention are explained hereafter with reference to the drawings. Figure 1 (a) is an oblique view showing a summary construction of an elastic surface wave element of the first embodiment of the present invention, and Fig. 1 (b) is a cross-sectional view along the A-A line in Fig. 1 (a). In Fig. 1, formed on the main surface of a quartz substrate 1 are an IDT electrode 2 and reflector electrodes 3a and 3b, wherein t indicates the thickness of the quartz substrate 1, P the pitch of the IDT electrode 2, λ the IDT wavelength, and H the thickness of the IDT electrode 2. Here, the IDT wavelength λ becomes twice the pitch P of the IDT electrode 2.

[0023]

Also, the quartz substrate 1 is cut out so that the Euler angle becomes $(0, \theta = 15\sim 25 \text{ degrees}, 0)$. Here, the thickness t of the quartz substrate 1 is adjusted so that the frequency temperature properties are stabilized; namely, while a face BS opposing the IDT electrode 2 face is usually utilized as a glue surface to the package, the opposing face BS is etched if necessary to adjust of the quartz substrate 1 thickness chip by chip so that the frequency temperature property becomes stable.

[0024]

In this instance, adjustment of the quartz substrate 1 thickness may be performed to the whole quartz substrate 1, or may be performed limiting to the IDT electrode 2 range which controls the temperature property of leaky wave. Figure 2 is a figure showing the relationship between the quartz thickness t and the frequency temperature deviation of the elastic surface wave element of the first embodiment of the present invention. In this embodiment the Euler angle $(0, 16, 0)$ and $H/\lambda = 0.0101$ are assumed, and shown are cases of the quartz thickness $t = 397 \mu\text{m}$, $398 \mu\text{m}$, $399 \mu\text{m}$, and $400 \mu\text{m}$. Also, the frequency temperature deviations in Fig. 2 are normalized values of frequency F at each temperature with the frequency F_0 at 25°C as the standard:

$$\text{Frequency temperature deviation [ppm]} = (F - F_0) / F_0 \times 10^6$$

[0025]

In Fig. 2, while in the cases of quartz thickness $t = 397 \mu\text{m}$, $398 \mu\text{m}$, and $399 \mu\text{m}$, frequency temperature deviation falls within the range of $80 \sim -40$ ppm for the temperature range of $-40 \sim 90^\circ\text{C}$, in the case of quartz thickness $t = 400 \mu\text{m}$, frequency temperature deviation varies in the range of $-250 \sim -20$ ppm for the temperature range of $-40 \sim 90^\circ\text{C}$. Therefore, in this embodiment, the frequency temperature property can be stabilized by setting the quartz thickness t to $397 \sim 399 \mu\text{m}$.

[0026]

Figures 3 and 4 are figures showing the relationship between the quartz thickness t and the frequency temperature deviation range of the elastic surface wave element of an embodiment of the present invention. Note that the frequency temperature deviation range is the difference between the maximum and minimum of the frequency temperature deviation in Fig. 2. Also, Fig. 3 shows the case where the IDT wavelength λ in Fig. 1 is $10 \mu\text{m}$, and Fig. 4 the case where the IDT wavelength in Fig. 1 is $12.5 \mu\text{m}$. Also, the Euler angle is $(0, 16, 0)$ for any IDT wavelength λ .

[0027]

In Figs. 3 and 4, if the quartz thickness t is varied, a minimum of frequency temperature deviation range appears at every IDT wavelength λ . Namely, in Fig. 3 a minimum appears at every IDT wavelength $\lambda = 10 \mu\text{m}$, and in Fig. 4 a minimum appears at every IDT wavelength $\lambda = 12.5 \mu\text{m}$. By this, through setting the adjusted amount of quartz thickness t to the range of $0 \sim 1 \lambda$ for the IDT wavelength λ , the frequency temperature deviation range can be adjusted to the minimum. Because a minimum of frequency temperature deviation range appears at every IDT wavelength λ , the adjustment amount of quartz thickness t may be in the range of $(n - 1) \times \lambda \sim n \times \lambda$ (n : integer).

[0028]

Here, minimum values of frequency temperature property variation obtained by adjusting quartz thickness t can be made the minimum value in the range satisfying the relationship between H/λ and θ . Namely, by adjusting quartz thickness t , H/λ , and θ , without making the IDT electrode 2 thickness H extremely thin,

operation at 1 GHz or higher is made possible, and a frequency temperature property of high precision can be easily obtained.

[0029]

In this way, by means of the first embodiment referred to above, a high yield in manufacturing is realized while suppressing the increase of resistance value of the IDT electrode 2, providing an elastic surface wave which utilizes the quartz leaky wave with a good frequency temperature property. Figure 5 (a) is a cross-sectional view showing an outline construction of the elastic surface wave element of the second embodiment of the present invention. In Fig. 5 (a), a quartz substrate 11 where an IDT electrode 12 is formed is glued to a ceramic package 14 via an adhesive 13 so that the IDT electrode 12 faces downward. In this instance, by performing plasma etching using fluorine gas for example, a face BS opposing the formation face of the IDT electrode 12 is etched to adjust thickness t of the quartz substrate 11 so that it comes to have a specified frequency temperature properties.

[0030]

For example, in the case where the specified frequency temperature properties are set to the frequency temperature property of the quartz thickness $t = 397 \mu\text{m}$ in Fig. 2, created is an elastic surface wave element of quartz thickness t which is a thickness considering a scatter of quartz thickness added to $397 \mu\text{m}$. After gluing the elastic surface wave element onto the ceramic package 14, plasma etching is performed so that the quartz thickness t becomes $397 \mu\text{m}$.

[0031]

Before gluing the quartz substrate 11 onto the ceramic package 14, quartz thickness to of the quartz substrate 11 may be adjusted. Also, in this case, the formation face of the IDT electrode 12 can be directed upward, and it can be glued to the ceramic package 14 so that no adhesive 13 exists on the bottom face of the IDT electrode 12. Figure 5 (b) is a cross-sectional view showing an outline construction of an elastic surface wave element of the third embodiment of the present invention. In Fig. 5 (b) a quartz substrate 21 where an IDT electrode 22 is formed is glued to a ceramic package 26 via an adhesive 24 so that the IDT electrode 22 faces upward. Also, the electrode of the quartz substrate 21 is connected to an electrode of a ceramic package 26 via a bonding wire 25.

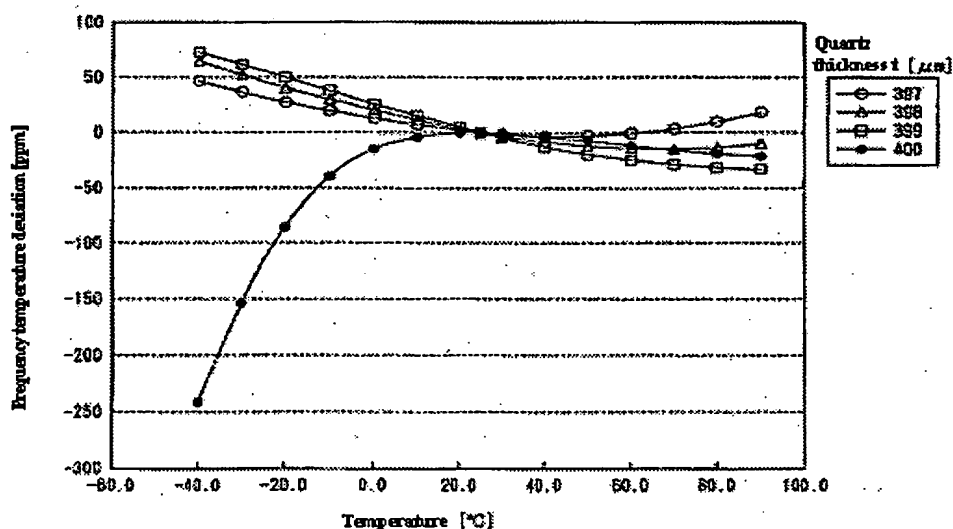
[0032]

On the back of the quartz substrate 21, a concave section 23 is formed to correspond to the formation range of the IDT electrode 22 at least, and thickness t of the quartz substrate 21 in this concave section 23 is set to provide the specified frequency temperature property. Also, in the ceramic package 26, an aperture 27 is installed corresponding to the concave section 23 of the quartz substrate 21. After gluing the quartz substrate 21 onto the ceramic package 26, backside of the quartz substrate 21 is etched via the aperture 27 to adjust thickness of the quartz substrate 21 in the concave section 23.

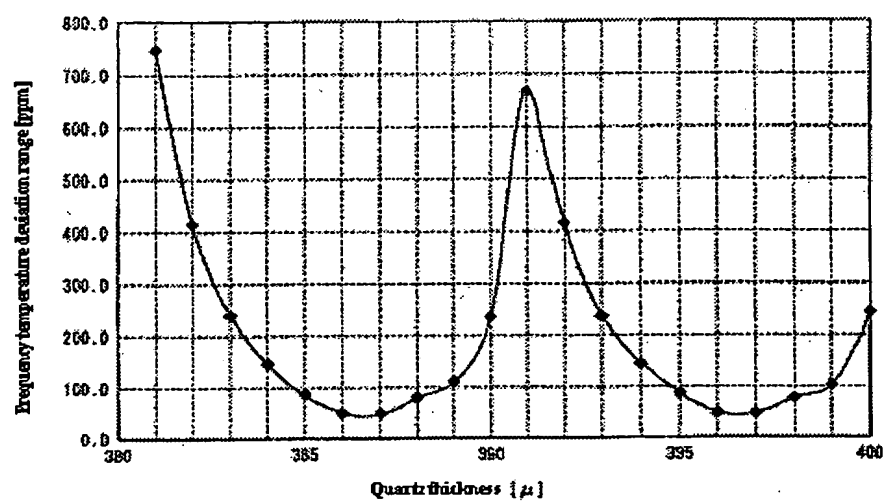
[0033]

In this manner, it becomes possible to perform wire bonding on the formation face of the IDT electrode 22, and also the adhesive 24 and the opposing face of the IDT electrode 22 can be surely separated. Before gluing the quartz substrate 21 to the ceramic package 26 with the adhesive 24, the thickness t may be adjusted from the backside of the quartz substrate 21. In this case, the aperture 27 of the ceramic package 26 does not need to exist.

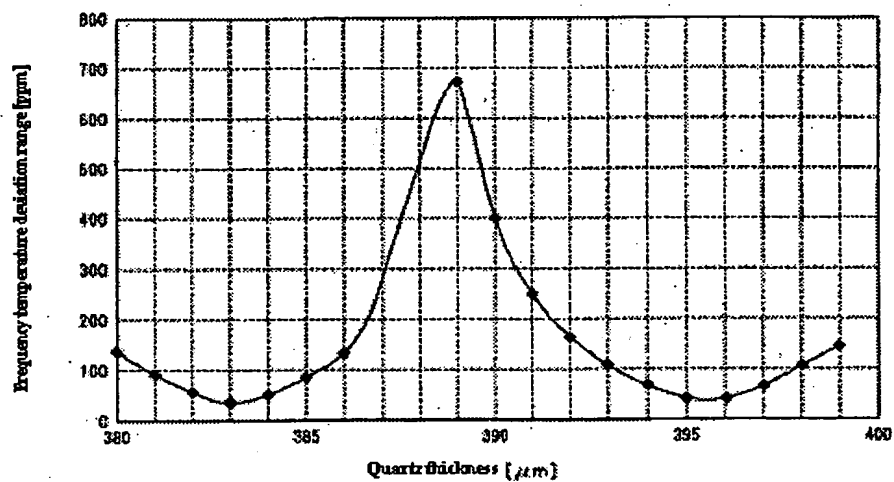
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]

